

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD SOCIOECONÓMICA Y  
MEDIOAMBIENTAL DE UNA CENTRAL DE FUSIÓN**  
(Socio-economic and environmental feasibility  
analysis of a fusion nuclear plant)

Para acceder al Título de  
**GRADUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Inés González García

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	3
2. HISTORIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR	5
2.1. PASADO .....	5
2.2. PRESENTE .....	7
2.2.1. Fisión Nuclear .....	7
2.3. FUTURO .....	9
2.3.1. Fusión Nuclear .....	9
2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR .....	13
2.4.1. Ventajas .....	13
2.4.2. Desventajas .....	14
3. PROYECTO ITER	16
3.1. VENTAJAS DE LA FUSIÓN SOBRE OTRAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA .....	20
3.2. DEMO .....	22
4. CASO DE ESTUDIO	23
4.1. METODOLOGÍA .....	23
4.1.1. Análisis Coste-Beneficio .....	23
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACB AL CASO DE ESTUDIO	35
5.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS .....	35
5.2. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE IMPACTOS .....	36
5.2.1. Impactos económicos .....	36
5.2.2. Impactos sociales .....	39
5.2.3. Impactos medioambientales .....	40
5.3. VALORACIÓN MONETARIA DE C&B .....	41
5.4. INDICADORES DE RENTABILIDAD .....	45
5.5. ANÁLISIS DE RIESGOS Y SENSIBILIDAD .....	46

6. RESULTADOS	51
6.1. COMPARATIVA FUSIÓN, FISIÓN Y CICLO COMBINADO .....	51
7. CONCLUSIONES	54
8. BIBLIOGRAFÍA	56
9. ANEXOS	57
9.1. ANEXO 1 - TOKAMAK.....	57
9.2. ANEXO 2 - CÁLCULOS .....	61
9.2.1. ACB CENTRAL DE FUSIÓN .....	61
9.2.2. ACB CENTRAL DE FISIÓN.....	71
9.2.3. ACB CENTRAL DE CICLO COMBINADO.....	81
10. ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS	89
10.1. ÍNDICE DE FIGURAS .....	89
10.2. ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	90
10.3. ÍNDICE DE TABLAS .....	91

## 1. INTRODUCCIÓN

El problema principal al que se enfrenta actualmente el planeta está relacionado directamente con el sector energético ya que es el que más contribuye en las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Las energías convencionales utilizan como materia prima combustibles fósiles, que en su proceso de combustión emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Como solución a esto, muchos estados incluyen en su mix energético tipologías de generación de energía sostenible y apuestan por el desarrollo de las energías renovables. A pesar de ello, éstas aún están en su mayoría en fase de desarrollo y, las que están algo más afincadas en el mix, siguen sin ser lo suficientemente competitivas como para poder ejercer el papel de central de base como actualmente lo ejercen las centrales térmicas o las centrales nucleares de fisión.

Como acabamos de explicar, las primeras tienen el problema de las emisiones de gases contaminantes, por lo que no se les espera un futuro prometedor si queremos mejorar esta situación, y las segundas, a pesar de no contribuir a esta problemática, se enfrentan al problema de los residuos radioactivos que hay que almacenar durante largos periodos de tiempo hasta que pierden su radioactividad.

Teniendo todos estos motivos en cuenta, en este proyecto se va a estudiar la viabilidad socioeconómica y medioambiental de la implantación de las centrales de fusión nuclear que, serían la combinación perfecta de características para solucionar todos los problemas que se acaban de exponer.

Es por esto que este proyecto nace con la intención de estudiar y conocer la posibilidad de satisfacer la demanda energética futura mediante la implantación de esta tecnología de generación de energía eléctrica, que, aunque se encuentra actualmente en fase de desarrollo, podría conducirnos hacia una de las opciones más sostenibles y eficaces de generación de energía.

De esta manera, las centrales nucleares de fusión serían capaces de frenar el cambio climático y la contaminación de la atmósfera al tener una contribución nula en la emisión de gases contaminantes y no generarían residuos radioactivos como las centrales nucleares de fisión. Además, serían capaces de adquirir el papel de centrales de base y cubrir la demanda energética.

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal el análisis de la viabilidad socioeconómica y medioambiental de la implantación de una futura central de fusión termonuclear por confinamiento magnético (tipo ITER).

## 2. HISTORIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR

En este párrafo se va a describir brevemente la historia de la energía nuclear, desde el comienzo de los primeros descubrimientos que la fundamentan hasta la actualidad.

### 2.1. PASADO

El pasado de la energía nuclear se clasifica en tres grandes etapas:

- Estudios científicos de carácter físico y químico de los elementos.
- Desarrollo de la bomba nuclear durante la Segunda Guerra Mundial.
- Aplicación de la energía nuclear en el entorno civil.

Los estudios científicos abarcan todo el período desde los primeros estudios de definición del átomo en la antigua Grecia hasta la concepción y desarrollo de la primera bomba nuclear en la Segunda Guerra Mundial.

Al comienzo de este período, Demócrito de Abdera, filósofo griego, definió por primera vez el concepto de átomo: *“parte más pequeña e indivisible de la materia”*. No fue hasta principios del siglo XVII, con el postulado del químico John Dalton, que se produjeron nuevos avances en este campo. En su libro *“A New System of Chemical Philosophy”*, afirma que los átomos que componen un mismo elemento son iguales, centrando el trabajo de los científicos contemporáneos en la identificación y clasificación de los elementos. Varios años después nació el formato de la tabla periódica que conocemos a día de hoy.

Con el transcurso de los años, varios científicos como Henri Becquerel o el matrimonio Curie, estudiaron varios elementos que mostraban cierta radiación penetrante de origen desconocido, a lo que denominaron radioactividad. Dicho descubrimiento, unido al de otros brillantes científicos como J. J. Thompson o Ernest Rutherford, redefinieron el átomo, pasando a ser un elemento divisible, formado por otros elementos aún más pequeños: los electrones y el núcleo atómico.

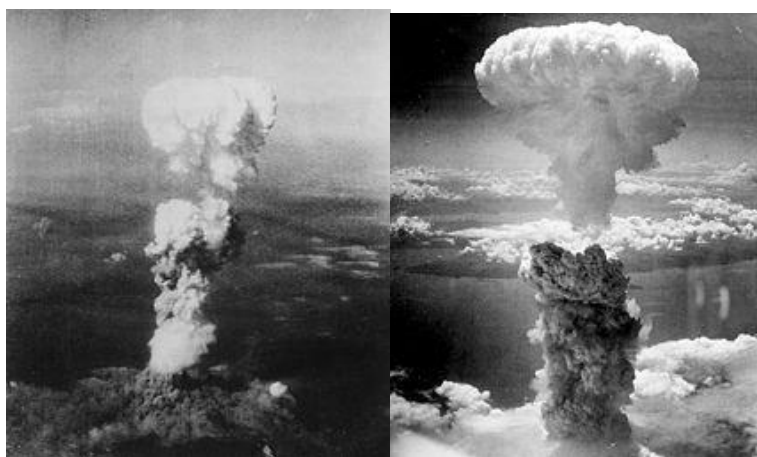
Poco después acontecieron una oleada de descubrimientos y teorías científicas que cambiarían la percepción de la naturaleza en sí misma. El modelo atómico de Niels Böhr, que hizo comprender que los electrones estaban repartidos en diferentes capas según su nivel energético o el descubrimiento del neutrón por

James Chadwick. Estos descubrimientos hicieron posible la definición del átomo en su totalidad, estando éste dividido en las partículas subatómicas que componen el núcleo, los protones y los neutrones, y las partículas que orbitan al núcleo en diferentes niveles energéticos, los electrones.

Una vez realizados tales descubrimientos, se vio la posibilidad de, gracias a los descubrimientos de Frédéric Joliot e Irene Curie de la radioactividad artificial y de la fórmula desarrollada por el brillante físico Albert Einstein, que correlacionaba la masa con la energía, de generar energía mediante el bombardeo de neutrones en determinados elementos.

Fue a finales de 1938, poco antes de dar comienzo la Segunda Guerra Mundial, cuando un grupo de científicos alemanes comienzan a hablar del fenómeno de la fisión nuclear, que definiremos en mayor profundidad más adelante. En resumen, se descubrió que al bombardear con neutrones el uranio, éste capturaba un neutrón y se fragmentaba en dos, produciendo una reacción en cadena y liberando una gran cantidad de energía.

Poco después, con fines militares, se hizo uso de la tecnología de la fisión nuclear y la reacción en cadena para la creación de la bomba atómica que fue utilizada con fines militares por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. La energía liberada durante una detonación de este tipo se reparte de forma aproximada en un 15% de radiación nuclear, un 35% de radiación térmica y un 50% de presión. Se estima que la bomba de Hiroshima liberó 23.2 millones de KWh.



**Figura 1** – Detonación de las bombas *Little Boy* y *Fat Man* sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki. **FUENTE:** <https://energia-nuclear.net/>

Tras ver el resultado que provocaba la detonación de estas bombas y el terror que producía en la población mundial el conocimiento de la existencia de esta tecnología, se desarrollaron en años posteriores con el fin de suavizar esta situación una serie de conferencias internacionales de carácter técnico sobre los distintos usos pacíficos que se podían dar a la energía nuclear.

El uso principal, y el que más interés solicitaba era la explotación comercial de la energía nuclear que nos lleva a la actualidad y al siguiente punto de este estudio.

## **2.2. PRESENTE**

Actualmente hay 448 reactores de nuclear civil en operación que producen aproximadamente el 11.5% de la energía eléctrica a nivel mundial. Estos 448 reactores de potencia son de distinta tipología (de agua a presión, agua en ebullición, agua pesada, uranio natural...), pero todos ellos hacen uso de la misma tecnología, la fisión nuclear.

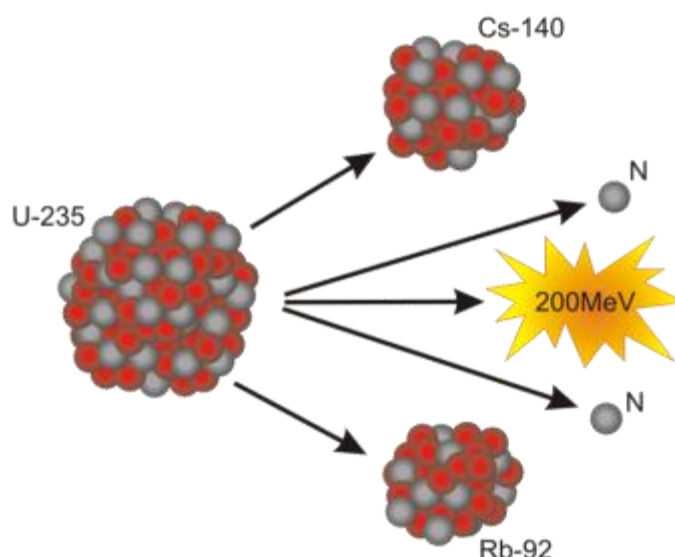
Para poder entender la situación actual de la energía nuclear y más en particular cómo está explotada esta forma de energía a nivel civil hace falta explicar el tipo de tecnología que utilizan las centrales que están en funcionamiento y abasteciéndonos de energía eléctrica a día de hoy.

### **2.2.1. Fisión Nuclear**

Denominamos fisión nuclear a la división en fragmentos del núcleo de un átomo. El núcleo se convierte en varios fragmentos con una masa prácticamente igual a la mitad de la masa original más dos o tres neutrones.

La suma de las masas de estos fragmentos es menor que la masa original, donde la diferencia de masa (alrededor del 0,1 por ciento de la masa original) se ha convertido en energía según la ecuación de Einstein ( $E=mc^2$ ). En esta ecuación E corresponde a la energía obtenida, m a la diferencia de masa y c es la velocidad de la luz: 299.792.458 m/s<sup>2</sup>.

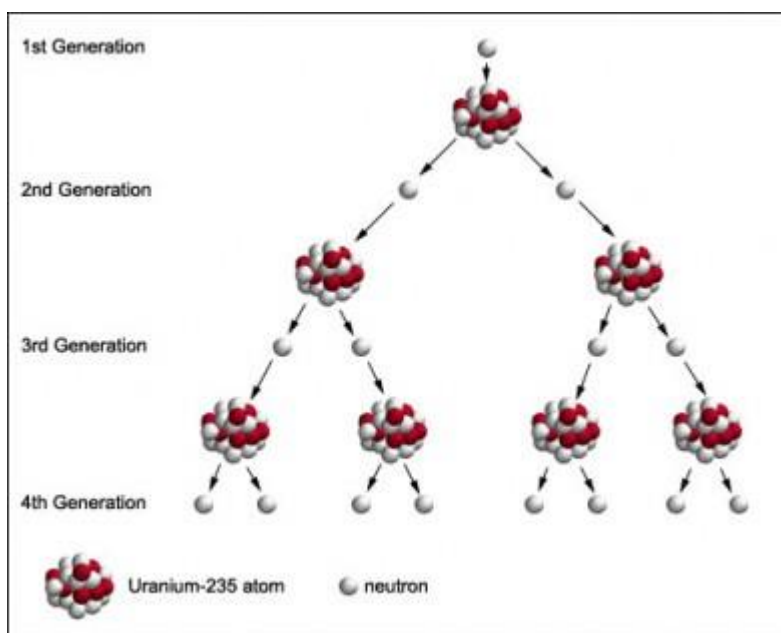




**Figura 2** – Átomo de Uranio fragmentándose. **FUENTE:** <https://energia-nuclear.net/>

La fisión nuclear puede producirse cuando un núcleo de un átomo pesado captura un neutrón (fisión inducida), o puede ocurrir de manera espontánea por la inestabilidad del isótopo (fisión espontánea).

Por otro lado, una reacción en cadena es un proceso mediante el cual los neutrones liberados en una primera fisión nuclear (ver **Figura 2**) producen una fisión adicional en al menos un núcleo más. Este núcleo, a su vez produce neutrones, y el proceso se repite.



**Figura 3** – Reacción en cadena. **FUENTE:** <https://energia-nuclear.net/>

Estas reacciones en cadena pueden ser controladas o incontroladas. Las controladas, serían aquellas producidas en centrales nucleares con el objetivo de generar energía eléctrica de forma constante. Las incontroladas serían las relacionadas con las armas nucleares, que no son caso de estudio en este proyecto.

Para mantener un control sostenido de la reacción nuclear, sólo se debe permitir a un neutrón de cada dos o tres puestos en libertad impactar contra otro núcleo de uranio. Si no se consigue hacer a un neutrón impactar contra otro núcleo, entonces la reacción morirá, y si más de uno impacta entonces va a crecer sin control (una explosión atómica). Para ser capaces de controlar la cantidad de neutrones libres durante la reacción debe existir un elemento de absorción de neutrones. La mayoría de los reactores se controlan a través de barras de control hechas de neutrones de un fuerte material absorbente, como el boro o el cadmio.

## **2.3. FUTURO**

El futuro de la energía nuclear tiene muchos factores para analizar y discutir; la vida útil de las centrales existentes, nuevas formas de energía, construcción de reactores en mercados abiertos...

El estudio se va a centrar en el análisis de la viabilidad de la implantación de la energía nuclear de fusión en el futuro. Para ello es necesario en primer lugar explicar lo que es la fusión nuclear.

### **2.3.1. Fusión Nuclear**

La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado. Normalmente esta unión va acompañada de la emisión de partículas. Esta reacción de fusión, libera o absorbe una gran cantidad de energía en forma de rayos gamma y de energía cinética de las partículas emitidas. Esta gran cantidad de energía permite a la materia entrar en estado de plasma.

Las reacciones de fusión nuclear pueden liberar o absorber energía. Si los núcleos que se van a fusionar tienen menor masa que el hierro se libera energía. En cambio, si su masa es mayor que la del hierro la reacción nuclear absorbe energía.

Las estrellas, como el Sol, experimentan de manera constante reacciones de fusión nuclear. La luz y el calor que recibimos del Sol son el resultado de estas reacciones nucleares de fusión donde núcleos de hidrógeno colisionan entre sí, y se fusionan dando lugar a un núcleo más pesado de helio liberando una enorme cantidad de energía. La energía liberada llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.



**Figura 4** – Reacciones de fusión en el Sol. **FUENTE:** <https://energia-nuclear.net/>

Para efectuar las reacciones de fusión nuclear, se deben cumplir una serie de requisitos:

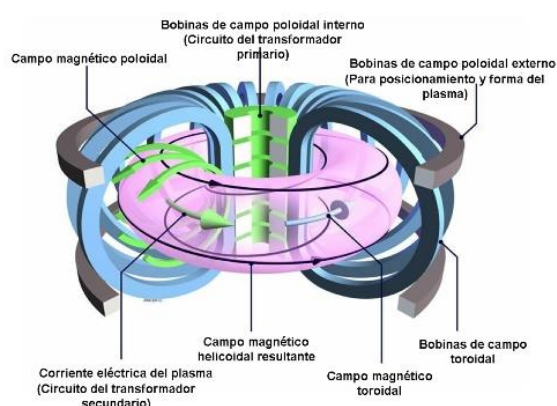
- Conseguir una temperatura muy elevada para separar los electrones del núcleo y que éste se aproxime a otro venciendo las fuerzas de repulsión electrostáticas. La masa gaseosa compuesta por los electrones libres y los átomos altamente ionizados se denomina plasma.
- Un confinamiento para mantener el plasma a temperatura elevada durante un mínimo de tiempo.
- La densidad del plasma debe de ser suficiente para que los núcleos estén cerca unos de otros y puedan generar reacciones de fusión.

Los confinamientos convencionales que se utilizan en los reactores nucleares de fisión (vasijas nucleares de acero forjado) no son viables para la fusión debido a las altas temperaturas del plasma que deben soportar. Por ello, se han desarrollado dos importantes métodos de confinamiento:

- Fusión nuclear por confinamiento inercial (FCI): Consiste en crear un medio tan denso que las partículas puedan salir sin chocar entre sí. Una pequeña

esfera compuesta por deuterio y tritio es impactada por un haz de láser, haciéndola implosionar. De esta forma conseguimos que se haga cientos de veces más densa y explote bajo los efectos de la reacción de fusión nuclear.

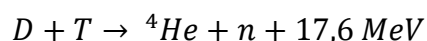
- Fusión nuclear por confinamiento magnético (FCM): Las partículas eléctricamente cargadas del plasma son confinadas en un espacio reducido por la acción de un campo magnético. El dispositivo más desarrollado tiene forma toroidal y se denomina Tokamak.



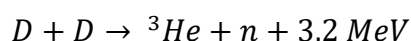
**Figura 5** – Reactor de fusión nuclear mediante confinamiento magnético.

**FUENTE:** <http://www.inin.gob.mx/temasdeinteres/fusionnuclear.cfm>

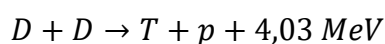
Los elementos atómicos empleados usualmente en las reacciones fusión nuclear son el Hidrógeno y sus isótopos: el Deuterio (D) y el Tritio (T). Las reacciones de fusión más importantes son:



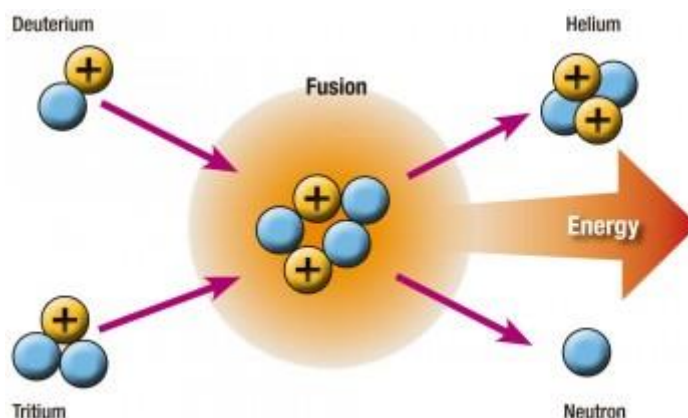
Fusionando un núcleo de Deuterio con un núcleo de Tritio, se obtiene un núcleo de Helio formado por dos neutrones y dos protones, liberando 1 neutrón y 17,6 MeV de energía.



Fusionando dos núcleos de Deuterio, se obtiene un núcleo de Helio formado por un neutrón y dos protones, liberando un neutrón y 3,2 MeV de energía.



Fusionando dos núcleos de Deuterio, se obtiene un núcleo de Tritio, un protón y 4,03 MeV de energía.



**Figura 6** – Reacciones de fusión. FUENTE: <https://energia-nuclear.net/>

Para hacer posibles estas reacciones se debe aportar a los núcleos que se van a fusionar la suficiente energía cinética para que sean capaces de vencer las fuerzas de repulsión electrostáticas y así se puedan aproximar unos a otros. Para ello es preciso calentar el gas hasta temperaturas muy elevadas, como las que se supone que tienen lugar en el centro de las estrellas.

El mayor requisito de cualquier reactor de fusión nuclear es ser capaz de confinar dicho plasma a la temperatura y densidad lo bastante elevadas y durante el tiempo necesario, con el fin de permitir que se produzcan suficientes reacciones de fusión nuclear, evitando que se escapen las partículas, y así obtener una ganancia neta de energía. Para ello es necesario que la energía utilizada para calentar y confinar el plasma sea menor que la liberada por las reacciones de fusión. Aproximadamente, por cada miligramo de combustible utilizado en la reacción (Deuterio-Tritio), se pueden obtener 335MJ.

Las reacciones de fusión nuclear se llevan a cabo con núcleos ligeros. En general se utilizan Deuterio y Tritio (isótopos del hidrógeno).

El Tritio, está formado por un protón y dos neutrones y es el isótopo inestable o radiactivo del átomo de hidrógeno. Aunque el Tritio no es abundante en la naturaleza, se puede generar por reacciones de captura neutrónica con los isótopos del Litio que es un material abundante en la corteza terrestre y en el agua del mar.

El Deuterio, por otro lado, está formado por un protón y un neutrón y es un isótopo estable del hidrógeno. Su presencia en el agua es de un átomo por cada 6.500 átomos de hidrógeno. Esto supone que su concentración en el agua de mar es de 34 gramos de Deuterio por metro cúbico de agua. Tiene un contenido energético muy elevado. La energía que se obtiene del Deuterio contenido en un litro de agua de mar es equivalente a la energía que se puede obtener de 250 litros de petróleo.

Dicho esto, y teniendo en cuenta que tres cuartas partes del Planeta están cubiertas por agua de mar, se considera la fusión nuclear cómo una fuente de energía inagotable y óptima para su utilización como energía del futuro.

## **2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

### **2.4.1. Ventajas**

La generación de energía eléctrica mediante centrales de tipología nuclear permite reducir la cantidad de energía generada a partir de combustibles fósiles, en su mayoría carbón y petróleo. Esta reducción en el uso de combustibles fósiles para la obtención de energía tiene como consecuencia principal la reducción de emisiones a la atmósfera de gases contaminantes y de efecto invernadero. Por otro lado, la reducción en el consumo de combustibles fósiles mejoraría la calidad del aire que respiramos con las implicaciones que esto conlleva en el descenso de enfermedades y la mejora de la calidad de vida.

Es importante saber que el humo que expulsan las chimeneas de ventilación de algunas centrales nucleares, a pesar de parecer a simple vista contaminante, es simplemente vapor de agua.



**Figura 7** – Torres de refrigeración de una central nuclear.

**FUENTE:** <https://www.foronuclear.org/es/>

Otra ventaja de la tipología nuclear relacionada con el combustible es la cantidad necesaria de éste para producir energía. En la tipología nuclear, con poca cantidad de combustible se obtienen grandes cantidades de energía. Esto implica un gran ahorro en materia prima, procesos de extracción y manipulación de la materia prima y transporte de ésta a las centrales de generación. Sumado a esto, es importante destacar que el coste de la materia prima necesaria para generar energía en las centrales de tipología nuclear supone el 20% del coste de la energía generada aproximadamente.

La producción de energía eléctrica es continua. Una central nuclear genera energía eléctrica sin paradas durante aproximadamente el 90% de las horas anuales. Esto soluciona uno de los principales problemas que tienen otros combustibles como el petróleo, la fluctuación en los precios.

Esta continuidad en la producción de energía favorece a la planificación eléctrica. En comparación con las energías renovables, la energía nuclear no depende de fenómenos medioambientales. De esta manera, las horas de mayor demanda energética siempre están cubiertas, no necesitando centrales de apoyo para cubrir demandas puntuales no planificadas.

#### **2.4.2. Desventajas**

Como desventajas de esta tipología energética es importante destacar que a pesar del alto nivel de sofisticación de los sistemas de seguridad de las centrales nucleares el factor humano siempre tiene cierta repercusión. Ante un imprevisto, no

se puede garantizar que las decisiones tomadas por los responsables en la gestión de un accidente nuclear sean siempre las más apropiadas. Tenemos dos buenos ejemplos de esto en los accidentes de Chernobyl y en Fukushima.

Otra desventaja importante para destacar es la complicada gestión de los residuos nucleares generados. Éstos tardan muchísimos años en perder su radioactividad y peligrosidad.

Por otro lado, la inversión inicial para la construcción de una planta nuclear es muy elevada y hay que recuperarla en poco tiempo, así que esto hace subir el coste de la energía eléctrica generada. En resumen, la energía generada es barata comparada con los costes del combustible, pero el tener que amortizar la construcción de la planta nuclear la encarece sensiblemente.

La producción de energía nuclear genera dependencia del exterior ya que pocos países disponen de minas de uranio por lo que tienen que importar la materia prima del extranjero.

Los reactores nucleares instalados actualmente funcionan mediante reacciones nucleares de fisión. Estas reacciones como se explica anteriormente se producen en cadena de modo que si los sistemas de control de la central fallasen esta reacción en cadena se extendería hasta provocar una explosión radioactiva prácticamente imposible de contener.

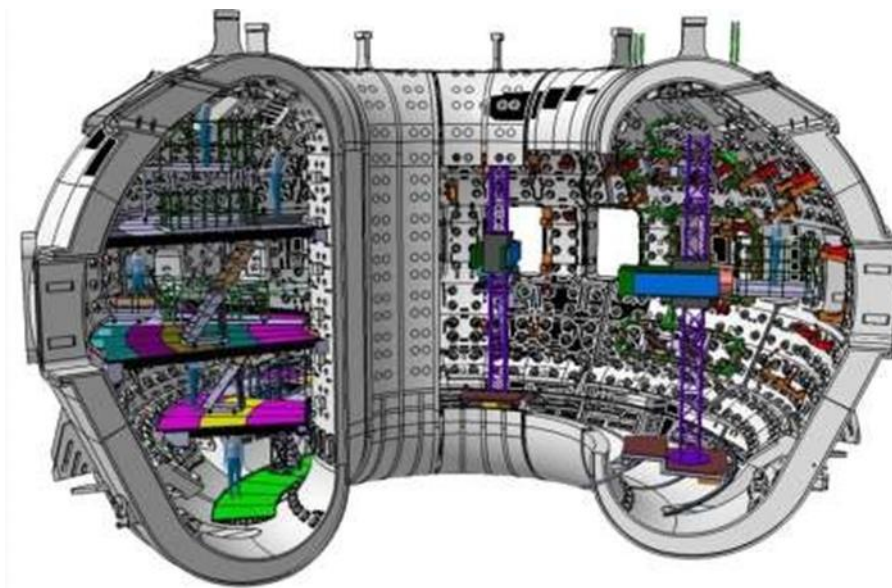
Para solventar todas las desventajas expuestas en este punto, se plantea la implantación de centrales nucleares de fusión. En el siguiente punto se explica el proyecto más importante que está en marcha actualmente para confirmar la viabilidad de la implantación de esta tecnología en la generación de energía eléctrica del futuro.



### 3. PROYECTO ITER

El proyecto ITER ("El camino" en latín), es uno de los proyectos energéticos más ambiciosos que se están desarrollando en el mundo en la actualidad.

En el sur de Francia, 35 países están colaborando en la construcción del Tokamak a mayor escala que se conoce. El Tokamak (ver ANEXO 1) es un sistema de fusión magnética que ha sido diseñado para probar la viabilidad de la energía de fusión nuclear a gran escala. Siendo esta una forma de energía libre de emisiones de gases efecto invernadero utilizando el mismo principio de generación energética que utilizan las estrellas.



**Figura 8** – Ensamblaje de la cámara del reactor Tokamak ITER.

**FUENTE:** <https://www.iter.org/>

La campaña experimental que se desarrolla en el proyecto ITER es crucial para avanzar en la ciencia y el conocimiento de la energía de fusión nuclear y permitirá allanar el camino a la utilización de esta tecnología en la generación energética del futuro próximo.

ITER será el primer mecanismo de fusión nuclear en producir energía neta<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> La condición de energía neta se produce cuando la energía total producida durante las reacciones de fusión en el interior del plasma es mayor o igual a la energía necesaria a proporcionar para que se produzca la reacción de fusión.

También será el primer mecanismo en mantener el proceso de fusión nuclear durante largos periodos de tiempo, en probar tecnologías integradas y materiales para la producción comercial de la electricidad teniendo como fuente de generación centrales de tipo fusión.

Miles de ingenieros y científicos han contribuido en el diseño del ITER desde que nació la idea de crear un experimento internacional conjunto para desarrollar la fusión nuclear en 1985. Los miembros del proyecto ITER—China, Unión Europea, India, Japón, Corea, Rusia y Estados Unidos— están sumergidos en un proyecto de colaboración con un horizonte temporal de 35 años en el que se construirá un mecanismo experimental cuyo funcionamiento pueda demostrar que un reactor de fusión se puede diseñar, fabricar y ser viable para su incorporación en la generación eléctrica del futuro.

La cantidad de energía de fusión que el reactor del ITER es capaz de producir es directamente proporcional al número de reacciones de fusión que se desarrollan en el interior de su núcleo. Muchos estudios afirman que, cuanto mayor sea el tamaño de la vasija del reactor, mayor será el volumen del plasma producido en su interior, y por lo tanto mayor el potencial de la energía de fusión.

El Tokamak – ITER, consta de un volumen de plasma diez veces más grande que el del dispositivo más grande que se haya puesto en operación a día de hoy, por lo que será capaz de producir mayor volumen de plasma y con un confinamiento mejor y más seguro.



**Figura 9** – Imagen de la mecánica de fusión dentro del núcleo.

**FUENTE:** <https://www.iter.org/>

El reactor se ha diseñado específicamente para cumplir y demostrar los siguientes puntos:

- **Producir 500 MW de energía de fusión**

El récord del mundo de energía de fusión lo alberga el Tokamak europeo denominado JET. En 1997, JET produjo 16 MW de energía de fusión de un total de 24 MW de potencia suministrada ( $Q=0.67$ )<sup>2</sup>. El ITER está diseñado para producir 500 MW de energía de fusión con una potencia suministrada de 50 MW ( $Q=10$ ), 500 MW. Esta energía no se transformará en electricidad, pero, como ya se ha expuesto anteriormente, al ser el primer reactor de fusión en producir una ganancia neta de energía, abrirá el camino para la fabricación de los dispositivos que sean capaces de hacerlo.

En la Tabla 1 podemos ver una comparativa de las características y parámetros de las cámaras de combustión del Tokamak – ITER con el Tokamak – JET:

<i><b>Parámetro</b></i>	<i><b>JET</b></i>	<i><b>ITER</b></i>
<i>Radio mayor del plasma (m)</i>	3	6.21
<i>Radio menor del plasma (m)</i>	1.25	2
<i>Volumen del plasma (m<sup>3</sup>)</i>	155	837
<i>Corriente del plasma (MA)</i>	5-7	15
<i>Campo magnético (T)</i>	3.4	5.3
<i>Tipo de plasma</i>	D-D / D-T	D-T
<i>Duración del pulso (s)</i>	10	>300
<i>Potencia suministrada (MW)</i>	24	50
<i>Energía de fusión (MW)</i>	16	500

**Tabla 1** – Comparativa JET/ITER.

**FUENTE:** <http://www-fusion-magnetique.cea.fr/gb/iter/iter02.htm>

<sup>2</sup>El factor Q es la relación entre la energía consumida y la suministrada por la reacción:

$$Q = \frac{\text{Potencia suministrada por la reacción}}{\text{Potencia de calentamiento auxiliar}}$$

- **Demostrar las operaciones integradas de diferentes tecnologías**

El ITER será el nexo de unión que vinculará los dispositivos actuales a nivel experimentales y las plantas de potencia de fusión del futuro. Los expertos serán capaces de estudiar el plasma producido en condiciones similares a aquellas que se esperan en las futuras centrales nucleares de fusión y así poder desarrollar sistemas para la extracción de energía, control del calor y demás sistemas propios de una central.

- **Conseguir un plasma de Deuterio-Tritio en el que la reacción sea prolongada**

Los científicos confían en que el plasma del ITER no solo producirá mucha más energía de fusión, sino que se mantendrá estable durante periodos más largos y será capaz de retroalimentarse.

- **Ensayos para la producción de Tritio**

Uno de los objetivos a cumplimentar durante las últimas fases del proyecto ITER es ser capaces de demostrar la viabilidad de producir Tritio<sup>3</sup> en el interior de la vasija del reactor en vacío.

Esto es debido a que el suministro de Tritio en el mundo (combustible que se utiliza junto al Deuterio en la reacción de fusión nuclear) no es suficiente para cubrir las necesidades de las futuras centrales de potencia. El ITER proporcionará una oportunidad única para realizar un ensayo práctico para estudiar la viabilidad de la producción de Tritio en un ambiente real de fusión.

- **Demostrar la seguridad de un dispositivo de fusión**

ITER alcanzó un hito importante en la historia de la energía por fusión en 2012, cuando obtuvo licencia como operador nuclear en Francia tras un minucioso e imparcial examen de sus procedimientos de seguridad. Uno de los objetivos principales del proyecto ITER es demostrar que el control del

---

<sup>3</sup> Es posible obtener Tritio a través de la colisión de los neutrones en el interior del Plasma con Litio (elemento presente la estructura que recubre al plasma en el interior de la cámara de vacío). Esta producción de Tritio permite la autosuficiencia de este combustible.

plasma y las reacciones de fusión sin consecuencias para el medio ambiente es un hecho viable.

La construcción de todas las instalaciones donde se emplazará el ITER dio comienzo en 2010. En 2015, fueron trasladados los primeros componentes de mayor volumen y la primera fase del ensamblaje estaba prevista para finales de 2018 principios de 2019. Se estima que la fase de puesta en marcha, si no se producen retrasos inesperados se produzca en el 2024, produciéndose el primer plasma en 2025 y el comienzo de la operación de fusión Deuterio-Tritio en 2035.

### 3.1. VENTAJAS DE LA FUSIÓN SOBRE OTRAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Las próximas décadas son cruciales para reconducir el consumo energético a uno en el que seamos capaces de reducir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera.

Para finales de siglo, la demanda de energía se habrá triplicado por una combinación de factores: crecimiento de la población, de las ciudades y aumento del acceso a la electricidad en países en vías de desarrollo. Por lo tanto, es necesaria la implantación de una nueva forma de energía a gran escala que sea libre de emisión de gases efecto invernadero y además sea capaz de suplir las necesidades energéticas de la población.

Las siguientes ventajas hacen a la energía nuclear de fusión la energía del futuro:

- **Gran cantidad de energía:** La unión de átomos libera aproximadamente cuatro millones de veces más energía que una reacción química como la combustión del carbón, petróleo o gas y cuatro veces más que la reacción de fisión nuclear.
- **Sostenibilidad:** La materia prima utilizada para la fusión está ampliamente disponible tanto en el espacio como en el tiempo. El Deuterio se puede obtener de cualquier tipo de agua y el Tritio se producirá durante la reacción de fusión. Las reservas de Litio terrestres permitirán la operación de plantas de fusión durante más de 1000 años y las reservas marinas cubrirían necesidades durante millones de años.

- **Ausencia de CO<sub>2</sub>:** La fusión, como se ha mencionado anteriormente no emite toxinas a la atmósfera como dióxido de carbono u otros gases que contribuyan al efecto invernadero.
- **Ausencia de residuos radioactivos de largo periodo de vida:** Los reactores de fusión nuclear no producen residuos nucleares de gran actividad ni vida útil prolongada. La activación de los componentes en un reactor de fusión es lo suficientemente baja como para que los materiales se puedan reciclar o reutilizar dentro de los 100 años.
- **Bajo riesgo de proliferación:** La fusión no emplea materiales fisionables como el uranio y el plutonio. (El tritio radioactivo no es un material fisionable ni fisionable). No hay materiales enriquecidos en un reactor de fusión como el ITER que puedan ser utilizados para fabricar armas nucleares.
- **No hay riesgo de fusión del núcleo:** No es posible un accidente nuclear similar al ocurrido en Fukushima en un dispositivo de fusión Tokamak. Ya es lo bastante difícil alcanzar y mantener las condiciones precisas necesarias para la fusión. Si ocurriera alguna alteración, el plasma se enfriaría en segundos y la reacción se detendría. La cantidad de combustible presente en la vasija en cualquier momento es la mínima solo por unos pocos segundos y no hay riesgo de una reacción en cadena.
- **Coste:** La potencia de salida en los reactores de fusión que se prevé para la segunda mitad de este siglo será similar a la de un reactor de fisión actual (es decir, entre 1 y 1,7 gigavatios). También se espera que el coste promedio por kilovatio de electricidad sea similar, un poco más caro al principio, cuando la tecnología sea nueva y menos costoso a medida que las economías de escala reduzcan los costes.

El mix energético ideal para el futuro del planeta debería de estar basado en una variedad de formas de generación de energía en lugar de una gran dependencia en una fuente de energía. Integrada como una nueva fuente de generación de energía libre de carbono, y que además no produce residuos radiactivos de larga duración, la fusión podría hacer una contribución muy positiva a los desafíos de la disponibilidad de recursos, la reducción de emisiones de carbono y la eliminación de residuos de fisión y cuestiones de seguridad.

### 3.2. DEMO

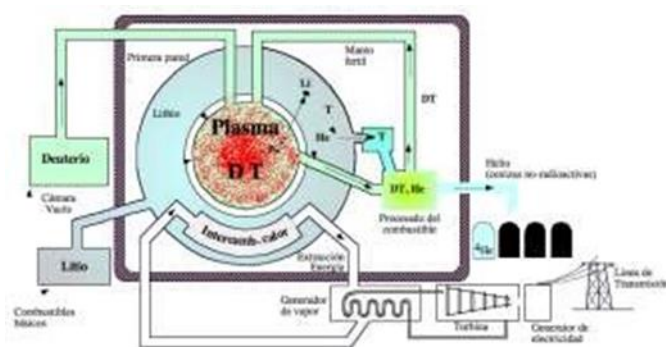
El DEMO, en un futuro se denominaría al primer reactor nuclear de fusión tipo Tokamak operativo completamente, aunque aún con vocación experimental. Esta planta nuclear sería la primera de una serie de plantas nucleares construidas con el fin de generar electricidad. DEMO es el siguiente paso al ITER, cuando se haya comprobado y demostrado su completa viabilidad y se hayan estudiado todos los sistemas de control y seguridad para que una central con esta tipología sea 100% viable, funcional y segura.

Se prevé que DEMO será capaz de producir entre 2 y 4 GW de potencia térmica, valores muy similares a los producidos por una central eléctrica de fisión convencional.

Las dimensiones de DEMO se prevé que sean aproximadamente un 15% más grandes que las del ITER y la densidad del plasma en el interior de su núcleo sea 30% mayor.

Como el ITER está aún en desarrollo, con los hitos temporales mencionados en puntos anteriores, aún no podemos conocer con precisión cuándo podremos ver la puesta en funcionamiento de DEMO.

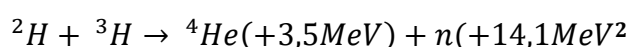
Un esquema de su funcionamiento podría ser el siguiente:



**Figura 10** – Posible esquema de funcionamiento de DEMO.

**FUENTE:** [http://www.conicit.go.cr/boletin/boletin75/plasmas\\_fusion\\_nuclear2.html](http://www.conicit.go.cr/boletin/boletin75/plasmas_fusion_nuclear2.html)

La reacción que se quiere llevar a cabo dentro de DEMO sería la siguiente:



donde  $^2\text{H}$  es el núcleo del Deuterio,  $^3\text{H}$  el núcleo del Tritio,  $^4\text{He}$  el núcleo del Helio-4 y  $n$  es un Neutrón.

## **4. CASO DE ESTUDIO**

Para estudiar la viabilidad socioeconómica y medioambiental de la implantación de una futura central termonuclear de fusión, se va a analizar esta tipología de generación de energía y a continuación se procederá al estudio de los resultados obtenidos y a la comparación de éstos con los que se obtendrían para el mismo estudio en dos tipologías de generación de energía diferentes. De esta manera podremos desarrollar las conclusiones pertinentes y determinar si finalmente la implantación de las centrales de fusión nuclear en el futuro próximo es viable.

### **4.1. METODOLOGÍA**

Como se ha dicho en el apartado anterior, para estudiar la viabilidad de las centrales de fusión nuclear se va a analizar a nivel económico, social y medioambiental una central futura de fusión nuclear y comparar los resultados con los que se obtendrían del mismo análisis en una central nuclear de fisión a igualdad de potencia necesaria y una central de ciclo combinado.

Una forma de analizar estos tres factores unificándolos en un solo análisis que nos permita comparar cuantitativamente los resultados obtenidos en el estudio de las tres tipologías de generación de energía es el análisis Coste-Beneficio.

En este apartado se va a explicar la metodología que se lleva a cabo en la realización de este análisis.

#### **4.1.1. Análisis Coste-Beneficio**

El análisis coste-beneficio es una herramienta analítica encargada de la evaluación de los costes y beneficios de un proyecto. El objetivo principal del análisis coste-beneficio es determinar si el proyecto analizado es rentable.

Para llevarlo a cabo, los costes y los beneficios tienen que ser cuantificados y reflejados en unidades monetarias de manera que sea posible calcular los beneficios netos del proyecto.

Desde un punto de vista social, el análisis de viabilidad de un proyecto no se limita a analizar los costes y beneficios financieros o privados, también debe de considerar los sociales. Para ello, habrá que cuantificar en términos monetarios los



costes que afecten a la sociedad para el desarrollo del proyecto y también los beneficios que se le pueda generar.

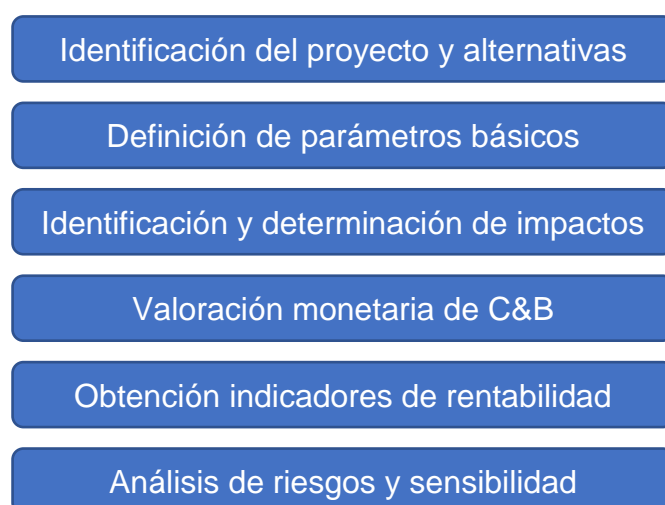
En este caso, queremos tener en cuenta los beneficios sociales y medioambientales del proyecto.

Una vez se hayan establecido los costes y beneficios se procederá a determinar si el proyecto es rentable o no. Para ello es preciso que previamente definamos los siguientes criterios:

- **Óptimo de Pareto:** el economista italiano Wilfredo Pareto formuló en su principio “que cualquier cambio de situación afectaría a una economía sin perjudicar a otra. Es decir, las situaciones son eficientes, si al haber un cambio de esa situación, se beneficia a alguno, sin perjudicar al otro”. Es decir, un óptimo será el punto de equilibrio en el que ninguno de los agentes implicados puede mejorar su situación sin empeorar la de otro agente.
- **Compensaciones y criterio Kaldor-Hicks:** elaboraron un criterio para evaluar si una asignación es preferible a otra. Es decir, una asignación será mejor que otra cuando al moverte de la segunda a la primera el beneficiado puede, mediante un pago global compensar al perjudicado y aun así seguir sacando un beneficio.

A continuación, para la realización del análisis coste-beneficio se procede a definir una división de este análisis en distintas etapas.

Para este análisis las etapas serán las siguientes:



- **Identificación del proyecto y alternativas:**

En primer lugar, es necesario caracterizar el problema que queremos estudiar y los objetivos que pretendemos conseguir con este estudio.

En este apartado, para definir e identificar el objetivo del proyecto es necesario definir aspectos como la delimitación geográfica, la población que se ve afectada, la tecnología a utilizar, la asignación de recursos, la normativa que se vaya a utilizar, etc.

Es importante también definir y tener en cuenta las alternativas al proyecto de estudio ya que si el análisis lo limitamos únicamente al estudio de los costes y los beneficios del proyecto podemos llegar a la conclusión de que éste es rentable y que es la mejor alternativa para lograr el objetivo buscado pudiendo haber obviado soluciones mejores que conduzcan a beneficios mayores.

- **Definición de parámetros básicos:**

En este apartado se definen aquellos parámetros que influyen directamente sobre el resultado del análisis y que por ello van a ser los pilares sobre los que se fundamente este ACB (Análisis Coste-Beneficio) y que han de ser definidos al inicio del estudio.

- Horizonte temporal: entendemos como horizonte temporal al período temporal (años) que transcurre desde el comienzo del proyecto hasta que finaliza la generación de fondos.

La elección de este parámetro puede tener unas repercusiones importantes en los resultados del estudio. La elección del horizonte temporal está ligada tanto a la duración del proyecto como al sector al que éste pertenezca.

Para facilitar la correcta elección de este parámetro, los autores de la “Guía de Análisis-Coste Beneficio para la Investigación de Proyectos, 2014” de la Comisión Europea, recomiendan los horizontes temporales mostrados en la siguiente tabla:

<i><b>Horizonte temporal medio por tipo de proyecto</b></i>	<i><b>Años recomendados</b></i>
<i>Energía</i>	25
<i>Agua y medio ambiente</i>	30
<i>Ferrocarriles</i>	30
<i>Carreteras</i>	25
<i>Puertos y aeropuertos</i>	25
<i>Telecomunicaciones</i>	15
<i>Industria</i>	10
<i>Otros servicios</i>	15

**Tabla 2** – *Horizonte temporal medio por tipo de proyecto.*

**FUENTE:** Comisión Europea

- Tasa de descuento: es el coste del capital que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro.

Este parámetro es muy importante a la hora de evaluar el proyecto a estudiar ya que indica cuánto vale ahora el dinero de una fecha futura.

La elección de este parámetro es de gran utilidad porque permite, mediante el cálculo del VAN (se definirá posteriormente), ver si un proyecto es rentable o no.

- Tasa de inflación: es un cociente que define el aumento a nivel porcentual de los precios en un determinado período de tiempo.

#### ▪ **Identificación y determinación de impactos:**

Ya definidos tanto el proyecto como los parámetros básicos de éste, es preciso identificar los que están ligados su realización.

En primer lugar, es preciso identificar todos los impactos que de cualquier manera afecten a la población del estudio ya sean económicos, sociales o ambientales; y en segundo lugar determinar de todos los impactos identificados cuáles son relevantes para incluir en el análisis.

### ▪ Valoración monetaria de Costes y Beneficios:

Una vez se ha decidido que impactos se tendrán en cuenta en el análisis, es preciso cuantificarlos como costes y beneficios.

Algunos de los impactos seleccionados tienen directamente asignadas unidades monetarias como por ejemplo los costes de operación y mantenimiento o los costes de construcción.

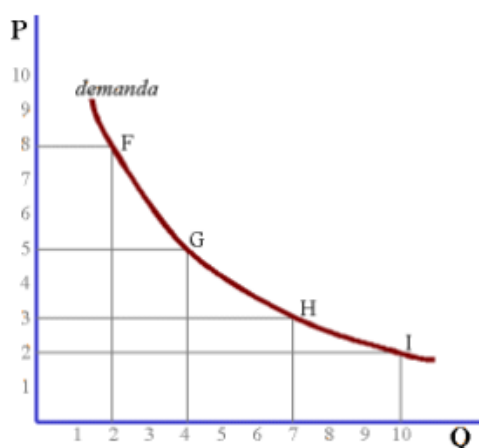
Sin embargo, hay otros que no. Los costes y beneficios sociales o ambientales, al no poderse cuantificar como un flujo monetario real, se miden en general como lo que está dispuesta a pagar la población por adquirir estos beneficios y lo que habría estado dispuesta a pagar por el beneficio perdido en la mejor alternativa no realizada.

Para cuantificar la disposición a pagar de la población, existen dos posibilidades:

- Mediante funciones de demanda de mercado
- Por aproximación preguntando directamente a los individuos

A continuación, se explica cómo aplicar el primer método:

Una función de demanda indica para cada valor de un determinado bien, el número de individuos que lo demandan. Ya que no todos los individuos tienen el mismo poder adquisitivo, ni el mismo interés, el número de personas que demandan un bien determinado es diferente dependiendo del precio al que se ofrezca.



**Gráfico 1 – Curva de demanda. FUENTE:** Bibling Proyectos Industriales

En cambio, si se considera el precio que estaría dispuesto a pagar cada individuo por dicho bien, se mediría el valor que tiene éste para el conjunto de todos los individuos.

▪ **Obtención de indicadores de rentabilidad:**

Para evaluar los resultados que se espera del proyecto estudiado se hace uso de dos indicadores esenciales en el análisis de la rentabilidad del proyecto:

- VAN (Valor Actual Neto): Este indicador permite determinar el valor económico del proyecto en función de la diferencia entre el valor presente de los flujos futuros y la inversión inicial.

La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$VAN = -A + \sum_1^n \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (1)$$

Donde:

A = Inversión inicial

Qn = Flujos de caja (Beneficios – Costes)

k = Tasa de descuento

n = Años de vida útil del proyecto

Con el valor del VAN obtenido, podemos realizar una interpretación de su resultado para conocer la rentabilidad del proyecto.

- Si  $VAN < 0 \rightarrow$  proyecto no rentable, generará pérdidas
  - Si  $VAN = 0 \rightarrow$  proyecto rentable, sin pérdidas ni beneficios
  - Si  $VAN > 0 \rightarrow$  proyecto rentable, con beneficio adicional
- TIR (Tasa Interna de Retorno): Se define como la tasa de interés o la tasa de descuento con la que el valor actual neto (VAN) es igual a cero.

Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = -A + \sum_1^n \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} \quad (2)$$

Donde:

A = Inversión inicial

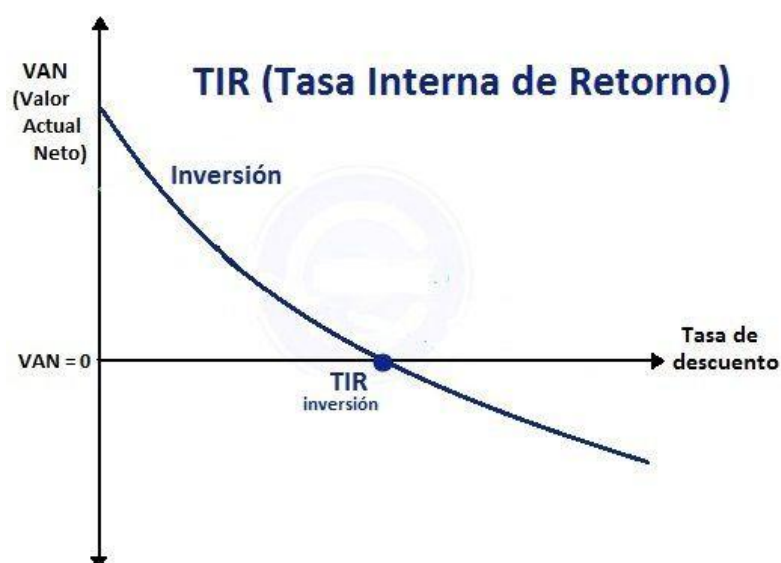
Qn = Flujos de caja (Beneficios – Costes)

$n$  = Años de vida útil del proyecto

Con los resultados de la tasa interna de retorno (TIR) obtenidos, podemos afirmar lo siguiente:

- Si  $TIR > k \rightarrow$  proyecto rentable
- Si  $TIR = k \rightarrow$  proyecto rentable, pero sin beneficio destacable
- Si  $TIR < k \rightarrow$  proyecto no rentable

Siendo  $k$  la tasa de descuento utilizada en el cálculo del VAN



**Figura 11 – Tasa Interna de Retorno. FUENTE:** Economipedia

▪ **Análisis de riesgos y sensibilidad:**

El análisis de riesgos a aplicar en este proyecto consistirá en el estudio de la probabilidad de que el proyecto obtenga resultados satisfactorios (resultados en función de VAN y TIR).

Para ello se realizarán dos etapas. Una primera etapa en la que se realizará un análisis de sensibilidad en el cual se estudiará el impacto que produce la alteración de una de las variables que define los beneficios y los costes sobre los indicadores calculados. Y otra segunda etapa en la que se empleará una distribución de probabilidad sobre las variables a estudiar para obtener el valor esperado de los indicadores mencionados.

➤ Análisis de sensibilidad:

El objetivo de este análisis es seleccionar aquellas variables y parámetros que sean críticos. Como variables críticas entendemos a

aquellas en las que si se realiza una variación sobre el valor estimado tienen un efecto muy pronunciado sobre el TIR y el VAN.

La elección de estas variables depende de muchos factores. De manera general, se recomienda elegir aquellas cuya variación del 1% implique una variación directamente proporcional al 1% sobre el valor de referencia del TIR y a un 5% sobre el valor de referencia del VAN.

Para la realización de un análisis de sensibilidad se seguirán los siguientes pasos:

1. Determinar todas las variables utilizadas agrupándolas por categorías homogéneas.
2. Identificar las variables que puedan ser dependientes entre sí, y en tal caso eliminar aquellas que sean repetitivas.
3. Realizar un análisis cualitativo del impacto de las variables con el objetivo de seleccionar aquellas con una elasticidad escasa o marginal. De esta manera solo se tendrán en cuenta aquellas que sean más significativas.
4. Una vez realizados los puntos anteriores, determinar las variables críticas

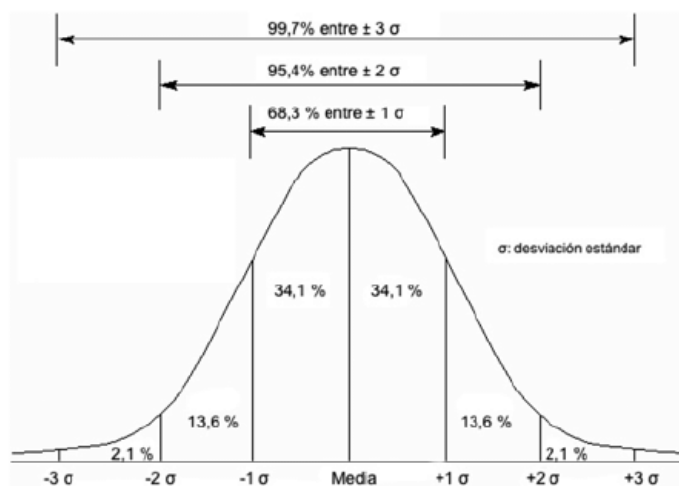
➤ Análisis de probabilidad de riesgos:

Una vez que ya se han determinado las variables críticas, es necesario asociar a cada una de las variables una distribución de probabilidad para hacer un estudio de la probabilidad que tiene el proyecto de realizarse de manera satisfactoria y rentable. Estas son algunas de las funciones de probabilidad más frecuentes:

○ **Distribución normal:**

Se entiende que una variable aleatoria  $X$  tiene una distribución normal con parámetros  $-\infty < \mu < \infty$  y  $\sigma^2 > 0$  si su función densidad es según la ecuación (3) y según la Figura 12.

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3)$$



**Figura 12** – Densidad de probabilidad normal.

**FUENTE:** “Análisis y evaluación de Proyectos de Inversión”

La ventaja de esta distribución es que ha sido tabulada y sus resultados están disponibles en cualquier libro de estadística.

○ **Distribución triangular:**

La distribución triangular, debido a su sencillez es fácil de comprender tanto para el encargado de realizar el análisis como para el que se encarga de interpretar los resultados.

Esta distribución es continua y tiene un valor mínimo **a**, un máximo **b** y una moda **c**. Esta función se hace cero para los extremos (máximo y mínimo), y se expresa de la siguiente manera:

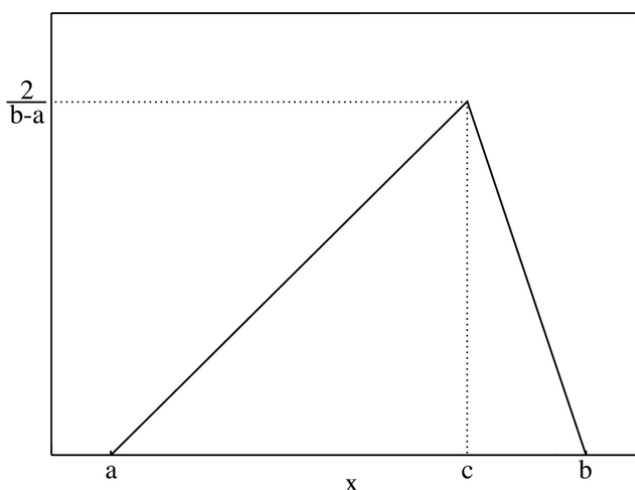
$$f(x, a, b, c) = \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} \quad \text{para } a \leq x < c$$

$$f(x, a, b, c) = \frac{2}{(b-a)} \quad \text{para } x = c$$

$$f(x, a, b, c) = \frac{2(b-x)}{(b-a)(c-a)} \quad \text{para } c < x \leq b$$

$$f(x, a, b, c) = 0 \quad \text{para otros casos}$$





**Figura 13** – Densidad de probabilidad triangular.

**FUENTE:** “Análisis y evaluación de Proyectos de Inversión”

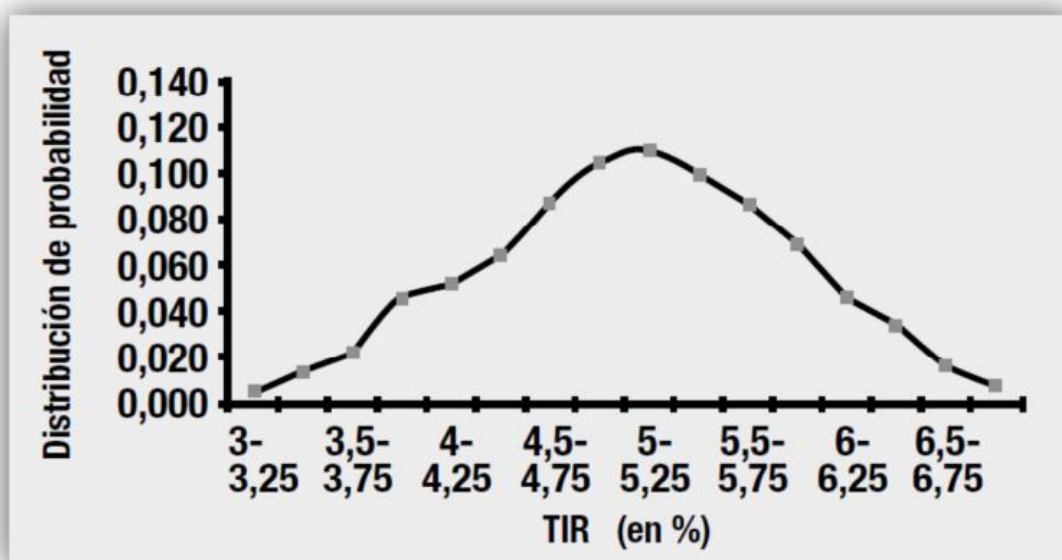
La distribución de probabilidad de cada variable se puede obtener a partir de distintas vías y solamente en los casos más sencillos es posible precisarla mediante métodos de cálculo de probabilidades. En un ACB cualquiera con un número definido de variables es muy sencillo que el número de combinaciones se dispare y sea imposible evaluarlo directamente.

Para llevar a cabo un análisis de probabilidad de riesgos en un proyecto y para evitar la problemática del elevado número de combinaciones entre variables, se suele utilizar el método Montecarlo.

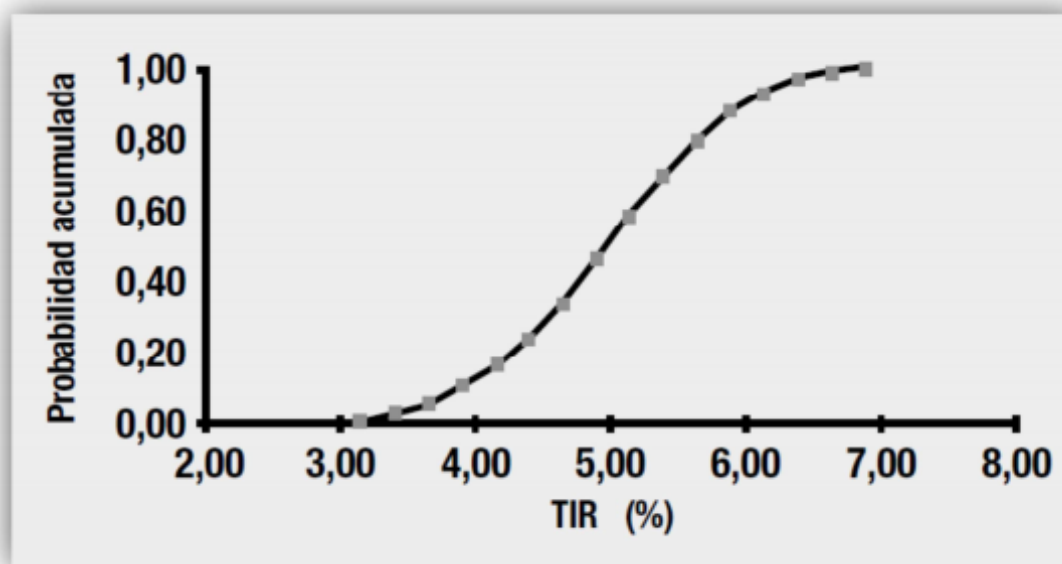
Este método consiste en, mediante un software de cálculo, extraer repetida y aleatoriamente distintos valores para las variables críticas elegidas en los apartados anteriores y con estos valores calcular el VAN y el TIR para cada conjunto de éstos.

Si este proceso se repite para un número de valores lo suficientemente elevado, se consigue una convergencia entre los índices calculados y la distribución de probabilidad del TIR y el VAN.

Los siguientes gráficos son ejemplos de estas distribuciones:



**Figura 14** – Distribución de probabilidad de un TIR. **FUENTE:** Bibling



**Figura 15** – Probabilidad acumulada de un TIR. **FUENTE:** Bibling

La probabilidad acumulada hace posible atribuir al proyecto un determinado grado de riesgo. Una manera de hacerlo es identificando si la probabilidad acumulada es inferior o superior a un valor identificado como valor de referencia que se considera crítico. Por ejemplo, en la Figura 15, la probabilidad de que el TIR tome un valor inferior al 5% es de aproximadamente un 50%.

Es importante identificar en la evaluación de riesgos aquellos proyectos con un alto riesgo, pero con grandes beneficios sociales

esperados y aquellos con un riesgo bajo, pero con pocos beneficios sociales esperados. Tener esto en cuenta permitirá analizar más objetivamente los riesgos y facilitará la toma de decisiones a la hora de asumirlos en el desarrollo del proyecto.

## **5. APLICACIÓN DE LA METODOLGIA ACB AL CASO DE ESTUDIO**

En este apartado, se desarrolla la metodología explicada en el punto 4 aplicándola a nuestro caso de estudio y se exponen los resultados obtenidos en el análisis coste-beneficio pertinente.

La primera etapa descrita en el apartado anterior (identificación del proyecto y alternativas), no se va a detallar más en profundidad pues en puntos anteriores se ha mencionado brevemente y es preciso tener en cuenta que este estudio está basado en un proyecto “futurible” y no de una central situada en un emplazamiento concreto y con la finalidad de abastecer energéticamente a una cantidad definida de individuos.

En cuanto a las alternativas al proyecto, en el apartado anterior se menciona que, una vez obtenidos los indicadores de rentabilidad del proyecto, se compararán éstos con los equivalentes para otras centrales de distinta tipología. De esta manera, comprobaremos si otras alternativas al proyecto de estudio son más rentables y deseadas.

### **5.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS BÁSICOS**

Siguiendo los pasos mencionados en el apartado de metodología, hay que definir los parámetros básicos que se van a tener en cuenta en el ACB para este proyecto: horizonte temporal, tasa de descuento y tasa de inflación.

Para determinar el horizonte temporal, en el punto 4.1.1 de este documento se hace referencia a una tabla (ver Tabla 2) en la que, a partir de datos obtenidos de la “Guía de Análisis-Coste Beneficio para la Investigación de Proyectos, 2014” de la Comisión Europea determinamos que para proyectos del sector energético el horizonte temporal recomendado a tener en cuenta en este ACB es 25 años.

En cuanto a la tasa de descuento, volvemos a recurrir a la “Guía de Análisis-Coste Beneficio para la Investigación de Proyectos, 2014” donde recomiendan tomar una tasa de descuento entre el 3% y el 5%. Para este proyecto tomaremos entonces una tasa de descuento del 4%.

Para determinar la tasa de inflación, necesitamos conocer las variaciones del IPC (Índice de Precios de Consumo). Tomamos como valor del IPC el del mes de diciembre de 2018 según el Instituto Nacional de Estadística (1.2%), y valoramos un incremento de éste del 0.1% respecto del año anterior.

## 5.2. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE IMPACTOS

En este punto se identifican todos los impactos que de alguna manera afectan o se ven afectados por la realización del proyecto y a continuación se determina aquellos que tienen una mayor relevancia para el estudio de viabilidad del proyecto.

Para facilitar su identificación, los clasificaremos en impactos económicos, sociales y medioambientales.

### 5.2.1. Impactos económicos

- Costes de construcción, fabricación de componentes e instalación:

Este impacto es el correspondiente al conjunto de todos los costes que comprenden la cuantía monetaria total de la inversión inicial del proyecto.

Estos costes abarcan los gastos de preparación del terreno, construcción de obra civil, fabricación de los componentes de la central, aprovisionamientos y transportes, instalaciones, trámites y obtención de permisos, y para terminar la puesta en marcha de la central.

- Costes de operación y mantenimiento:

En este caso de estudio, al ser imposible conocer un valor real de los costes que supondría mantener en funcionamiento la central ya que no hay ninguna en operación, se tomará como valor base el que tendría un central tipo de fisión un poco aminorado. La razón del aminoramiento de este coste es debido a que, en una central nuclear de fisión, es necesario renovar sus componentes con cierta frecuencia en su vida útil (por ejemplo, los generadores de vapor). Por ello el coste de mantenimiento sería algo más elevado.

Tomaremos entonces como coste de O&M 8€/MWh.

- Costes de desmantelamiento:

Lo mismo ocurre para los costes de desmantelamiento. En este caso, los costes de desmantelamiento serán igualmente menores a los de una central de fisión nuclear ya que al no operar con combustible radioactivo, no existen costes tan elevados en el tratamiento de los componentes y los residuos durante el desmantelamiento. Se tomará un valor de 0,0033€/MWh.

- Costes de acopio de combustibles:

En cuanto al coste de adquisición de combustible, hay que tener en cuenta que esta tipología funciona con dos materias primas diferentes como se ha explicado en apartados anteriores de este documento (Deuterio y Tritio).

Para el cálculo del coste que supone el acopio anual de estos combustibles se ha tenido en cuenta lo siguiente:

1. El coste del acopio del Deuterio será de manera anual para toda la vida útil de la central.

$$\text{Coste anual Deuterio} = 700 \text{ €/Kg} \times 253,957 \text{ Kg/año}$$

$$\text{Coste anual Deuterio} = 177.769,9 \text{ €}$$

2. Como se ha explicado en apartados anteriores de este documento, para este caso de estudio se va a suponer que se consiga producir Tritio en el interior de la vasija. Teniendo esto en cuenta, únicamente se acopiará el Tritio necesario para el día en el que se vaya a generar el plasma, de manera que en el momento que esté en pleno funcionamiento sea autosuficiente. Se tiene en cuenta también que se realizarán 2 paradas rutinarias anualmente.

Por lo tanto:

$$\text{Coste anual Tritio} = 26.720.000 \text{ €/Kg} \times 0,3 \text{ €/día} \times 2 \text{ días/año}$$

$$\text{Coste anual Tritio} = 16.032.000 \text{ €}$$

- Costes de seguros y accidentes:

Para los costes de seguros y accidentes se ha supuesto un 10% de los ingresos anuales. Estos costes cubren las responsabilidades civiles, los posibles accidentes, la reposición de activos, etc. En esta tipología de generación de energía los costes de prevención de accidentes son elevados, pero no tanto como lo serían en una central de fisión donde los daños en caso de accidente son mucho mayores.

- Costes de arrendamiento:

Estos costes están vinculados con el alquiler o arrendamiento del espacio físico o los terrenos en los que se emplaza la central.

Para este estudio se ha tomado un valor del 3% de los ingresos anuales generados.

- Costes de gestión:

Los costes de gestión engloban todos los gastos que tiene la central para desarrollar el control y administración de la central durante su vida útil.

Para este estudio se ha tomado un valor del 4% de los ingresos total anuales generados.

- Ingresos por venta de energía:

Para evaluar los ingresos por venta de energía, ocurre como en apartados anteriores donde es imposible dar un valor real. Para valorarlo, se toma como base los ingresos para la nuclear de fisión aminorándolos levemente, pues se entiende que, al tener menos gastos de producción el precio del MWh será más bajo.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los datos obtenidos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), donde la retribución media en régimen ordinario para la fisión nuclear es de 64,89 €/MWh, se tomará para este estudio 50 €/MWh.

- Beneficios por autoabastecimiento de materia prima:

Como se ha expuesto en apartados anteriores de este documento, la materia prima necesaria para la producción de energía de fusión está distribuida homogéneamente a nivel mundial. Este hecho conlleva unos beneficios o ahorros en importación de materia prima.

### **5.2.2. Impactos sociales**

- Beneficios por creación de empleo y desarrollo industrial:

La implantación de la tecnología de fusión nuclear en la red de generación eléctrica de los distintos territorios contribuye a la creación de empleo y desarrollo industrial de manera directa e indirecta.

De manera directa, con los puestos de trabajo “fijos” que serán necesarios para mantener en operación a la central. En este estudio se valora la creación de 2.000 puestos de trabajo.

De manera indirecta, los contratos para la construcción y diseño de la central. Tanto la fabricación de los componentes como el diseño y la construcción de la central son labores muy complejas y específicas por lo que se subcontratarán varias empresas especializadas en cada sector para llevar a cabo estas tareas. También la utilización de estas materias primas mencionadas anteriormente fomentará el desarrollo de plantas específicas para la explotación y obtención de estos elementos.

- Beneficios por autoabastecimiento de materia prima:

Estos beneficios están incluidos también en impactos sociales ya que el hecho de estar distribuida la materia prima homogéneamente y no localizada en determinadas regiones del planeta evita la dependencia de otros estados en la importación de ésta si no hay disponibilidad cercana.

- Beneficios fiscales:

Al contribuir en la creación de empleo se generan ingresos fiscales para las administraciones públicas territoriales que se vean afectadas. Los ingresos que se generan son fruto principalmente del IVA e



impuestos de sociedades. Para este estudio, se tomará un retorno fiscal de 0.55€.

- Costes por desconfianza social:

Se considera para este estudio que, al ser una tipología de generación de energía nueva y al pertenecer al sector nuclear pueda existir una desconfianza social a lo desconocido y se la incluya en la “mala fama” que tiene la nuclear de fisión en muchas sociedades por el miedo a sus posibles accidentes y aplicaciones.

Esta desconfianza social puede afectar mucho en las decisiones políticas a la hora de querer apostar por esta tipología de generación de energía.

### **5.2.3. Impactos medioambientales**

- Beneficios por ahorro en emisiones de CO2:

Para fomentar la no emisión de CO2 en los procesos de producción, se establece un precio por cada tonelada de este gas no emitida comparada con la que emitiría si utilizase como materia prima un combustible fósil.

Para este estudio se tomará 16 € por cada tonelada de CO2 no emitida.

- Costes por contaminación visual y auditiva:

En la fase de búsqueda del emplazamiento para la central se realizarán estudios sobre las localizaciones donde se prevea construir.

El impacto visual y auditivo de la central es inevitable, pero se procura que emplazarla en un lugar donde el impacto sea el mínimo posible.

Ahora que ya se han identificado todos los impactos que afectan al caso de estudio, se va a determinar cuáles de ellos son relevantes para incluir en el análisis que se desarrolla más adelante.

Para ello, a continuación, se muestra una tabla en la que se evalúan todos los impactos identificados y se los clasifica en Relevantes y No Relevantes en función de su impacto.

<b>IMPACTO</b>	<b>RELEVANTE</b>	<b>NO RELEVANTE</b>
<i>Costes de construcción, fabricación e instalación</i>	X	
<i>Costes de operación y mantenimiento</i>	X	
<i>Costes de desmantelamiento</i>	X	
<i>Costes de acopio de combustibles</i>	X	
<i>Costes de seguros y accidentes</i>	X	
<i>Costes de arrendamiento</i>	X	
<i>Costes de gestión</i>	X	
<i>Ingresos por venta de energía</i>	X	
<i>Beneficios por autoabastecimiento de materia prima</i>		X
<i>Beneficios por creación de empleo y desarrollo industrial</i>	X	
<i>Beneficios fiscales</i>	X	
<i>Costes por desconfianza social</i>		X
<i>Beneficios por ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub></i>	X	
<i>Costes por contaminación visual y auditiva</i>		X

**Tabla 3** – Valoración de los impactos. **FUENTE:** Elaboración propia

### 5.3. VALORACIÓN MONETARIA DE C&B

En este apartado, se va a realizar la valoración monetaria de los impactos que en el punto anterior se han clasificado como relevantes para el proyecto.

- Costes de construcción, fabricación e instalación:

#### **Preparación del terreno**

Volumen de la excavación (m3)	198900
Volumen de roca y suelo removido (m3)	210000
Coste total excavación y remoción de tierras	<b>275.000.000 €</b>

#### **Cimientos**

Hormigonado (m3)	25000
Refuerzo de acero (T)	6000
Almohadillas sísmicas (Ud)	493
Coste total de cimentación	<b>550.000.000 €</b>

#### **Edificio oficinas generales y control**

Superficie del edificio (m2)	20500
Coste total instalaciones (eléctrica, agua, ventilación...)	375.500.000 €
Coste total oficinas generales y control	<b>550.000.000 €</b>

#### **Planta criogénica**

Coste total construcción de la planta	165.000.000 €
Coste total instalaciones (eléctrica, agua, ventilación, compresores...)	660.000.000 €
Coste total planta criogénica	<b>825.000.000 €</b>

#### **Complejo Tokamak**

Coste total de construcción	195.000.000 €
Coste total instalaciones (eléctrica, agua, ventilación, refrigeración...)	492.500.000 €
Coste total fabricación y ensamblaje del Tokamak	2.062.500.000 €
Coste total complejo Tokamak	<b>2.750.000.000 €</b>

#### **Puesta en marcha**

Puesta en marcha de la instalación	550.000.000 €
Coste total puesta en marcha	<b>550.000.000 €</b>

<b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>5.500.000.000 €</b>
--------------------------------	------------------------

**Tabla 4** – Desglose de costes de construcción, fabricación e instalación.

**FUENTE:** Elaboración propia.

El resto de los costes identificados como relevantes en la tabla 4, se muestran en la siguiente tabla. Los valores más en detalle para cada uno de ellos se muestran en el ANEXO 2.

- Costes:

<b>COSTE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
<i>ENERGÍA PRODUCIDA (MWh)</i>	7.500.000
<i>COSTE O&amp;M (€/MWh)</i>	8,00 €
<b>TOTAL COSTE ANUAL</b>	<b>60.000.000 €</b>
<b>COSTE SEGUROS</b>	
<i>PORCENTAJE DE LOS INGRESOS ANUALES</i>	10,00%
<b>TOTAL COSTE ANUAL</b>	<b>48.937.000 €</b>
<b>COSTE ARRENDAMIENTO</b>	
<i>PORCENTAJE DE LOS INGRESOS ANUALES</i>	3,00%
<b>TOTAL COSTE ANUAL</b>	<b>14.681.100 €</b>
<b>COSTES DE GESTIÓN</b>	
<i>PORCENTAJE DE LOS INGRESOS ANUALES</i>	4,00%
<b>TOTAL COSTE ANUAL</b>	<b>19.574.800 €</b>
<b>COSTE DESMANTELAMIENTO</b>	
<i>COSTE DESMANTELAMIENTO (€/MWh)</i>	0,0033
<i>ENERGÍA PRODUCIDA (MWh)</i>	7.500.000
<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>24.750 €</b>
<b>COSTE ACOPIO DE COMBUSTIBLE</b>	
<i>CANTIDAD DEUTERIO ANNUAL (Kg)</i>	253,957
<i>COSTE DEUTERIO (€/Kg)</i>	700
<i>CANTIDAD TRITIO ANNUAL (Kg)</i>	0,6
<i>COSTE TRITIO (€/Kg)</i>	26.720.000
<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>16.209.769,90 €</b>

**Tabla 5 – Costes del proyecto. FUENTE:** Elaboración propia

Se realizará la misma agrupación para los beneficios relevantes identificados en el apartado anterior.

▪ Ingresos:

**INGRESOS POR LA NO EMISIÓN DE CO2**

EMISIÓN DE CO2 COMBUSTIBLE FÓSIL (T/MWh)	0,015
EMISIÓN DE CO2 ENERGÍA FUSIÓN NUCLEAR (T/MWh)	0,000125
ENERGÍA PRODUCIDA ANNUAL (MWh)	7.500.000
TONELADAS EVITADAS DE CO2 ANUALES	111.562,5
PRECIO POR TONELADA EVITADA	16 €
<b>TOTAL INGRESO ANUAL</b>	<b>1.785.000 €</b>

**INGRESOS FISCALES**

RETORNO FISCAL (POR CADA € INVERTIDO)	0,55 €
INVERSIÓN INICIAL	5.500.000.000 €
<b>TOTAL INGRESO ANUAL</b>	<b>75.625.000 €</b>

**INGRESOS EMPLEO**

SUELDO	1.000 €
14 PAGAS	14.000 €
SEGURIDAD SOCIAL	4.480 €
NÚMERO DE EMPLEADOS	2.000
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>36.960.000 €</b>

**INGRESOS POR VENTA DE ENERGÍA**

ENERGÍA PRODUCIDA (MWh)	7.500.000
PRECIO DEL MWh	50,00 €
<b>TOTAL INGRESO ANUAL</b>	<b>375.000.000 €</b>

**Tabla 6** – Ingresos del proyecto. **FUENTE:** Elaboración propia.

## 5.4. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Ahora que ya se han definido todos los impactos que se consideran relevantes y se le ha dado una valoración monetaria a cada uno de ellos, es posible calcular los indicadores de rentabilidad del proyecto.

Como se definió en el apartado 4.1 para este proyecto se establecen como indicadores de rentabilidad el Valor Actualizado Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Llevando a cabo los cálculos descritos en el apartado 4.1 dónde se detalla el procedimiento para el cálculo de ambos indicadores, los resultados obtenidos son los siguientes:

VAN	516.746.454 €
TIR	5%

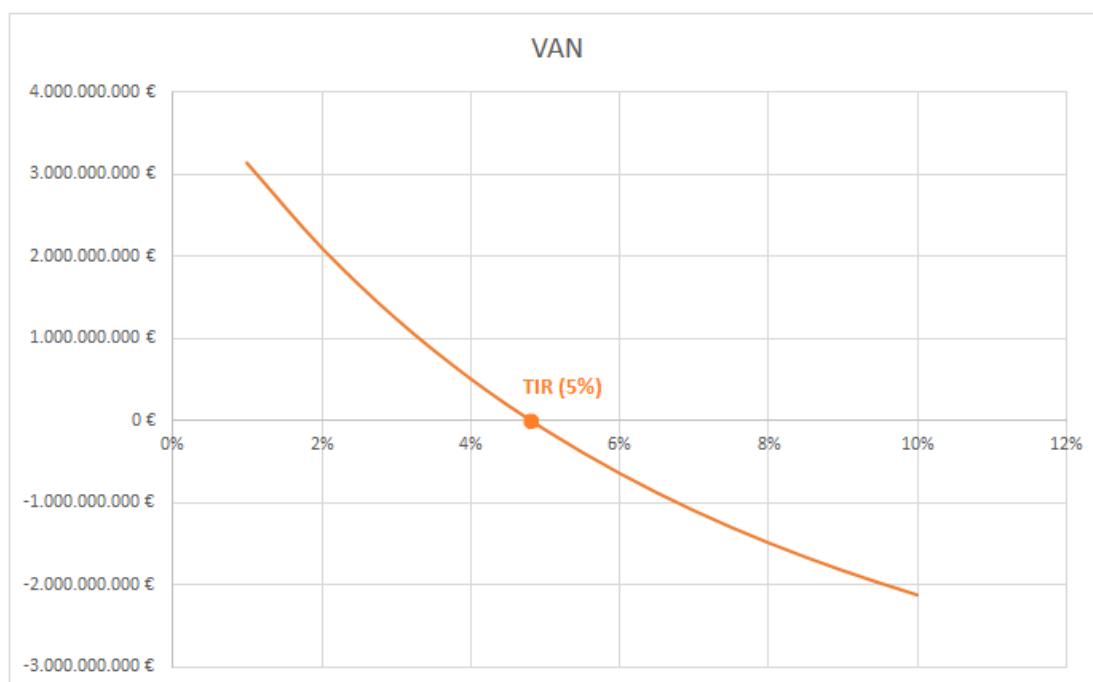
**Tabla 7** – Resultados indicadores de rentabilidad. **FUENTE:** Elaboración propia.

Ahora, según los resultados que se han obtenido para el VAN y el TIR, y teniendo en cuenta los criterios establecidos en el apartado 4.1 de este documento se llega a las siguientes conclusiones:

1.  $VAN > 0 \rightarrow$  La inversión inicial producirá beneficios superiores a la rentabilidad establecida.
2.  $TIR > \text{Tasa de descuento (4\%)} \rightarrow$  La realización del proyecto se considera rentable.

Teniendo en cuenta las conclusiones aquí expuestas, los indicadores de rentabilidad reflejan que es viable la realización de proyecto propuesto en este caso de estudio.

A continuación, se muestra un gráfico donde se puede observar los valores que toma el VAN para los distintos valores de tasa de descuento y su relación con el TIR.



**Gráfico 2 – VAN - TIR. FUENTE:** Elaboración propia.

## 5.5. ANÁLISIS DE RIESGOS Y SENSIBILIDAD

Para la realización del análisis de riesgos del proyecto se va a aplicar la metodología descrita en el apartado 4.1.

En primer lugar, se realiza el análisis de sensibilidad siguiendo el procedimiento descrito en apartados anteriores de este documento.

Para seleccionar las variables críticas para el proyecto, una vez determinadas todas ellas se descartan en primer lugar aquellas que sean dependientes de otras y a continuación sobre las restantes se les aplica una variación del 1%. Una vez aplicada esta variación se comprueba la consecuencia que esta variación ha tenido sobre el valor del VAN. Si esta variación supera el 1%, entonces la variable se considera crítica.

A continuación, se muestran los resultados de las variaciones del VAN para cada una de las modificaciones en todas las variables identificadas:

<i>Variable</i>	<i>Valor Inicial</i>	<i>Valor Final (+1%)</i>	<i>VAN Inicial (€)</i>	<i>VAN Final (€)</i>	<i>Variación del VAN</i>
<i>Inversión inicial</i>	5.500.000.000 €	5.555.000.000 €	516.746.454	461.746.454	10,64%
<i>IPC</i>	1.2%	1,212%	516.746.454	524341656,67	-1,47%
<i>Incremento IPC</i>	0.1%	0,101%	516.746.454	516763739,06	-0,0033%
<i>Precio MWh</i>	50	50,5	516.746.454	571720839,47	-10,64%
<i>Energía producida</i>	7500000	8250000	516.746.454	963091304,35	-86,37
<i>Precio Tritio (kg)</i>	26720000	26987200	516.746.454	515789053,28	0,18%
<i>Precio Deuterio (kg)</i>	700	707	516.746.454	516715055,79	0,0061%
<i>Salario anual</i>	14000	14140	516.746.454	522170311,45	-1,05%
<i>Precio Tonelada CO2</i>	16	16,16	516.746.454	517008401,96	-0.05%
<i>Tasa de Descuento</i>	4%	4,04%	516.746.454	489960596,40	5,18%

**Tabla 8** – Variación de las variables del proyecto. **FUENTE:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las variables críticas para el proyecto son:

- La inversión inicial, es decir, todos los costes relacionados con la construcción, fabricación e instalación de la central.
- El IPC
- El precio del MWh en el mercado de compraventa de energía
- La producción de energía anual
- El salario anual de los trabajadores
- La tasa de descuento

Una vez identificadas las variables críticas, se procede a realizar el análisis de probabilidad del proyecto como segundo paso para la compleción del análisis de riesgo del proyecto.

Para ello es necesario que asociemos una distribución de probabilidad a cada variable crítica identificada.



A continuación, se listan las variables y las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de ellas, definiendo el rango de variación de estas variables:

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR BASE</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD M (Media) <math>\sigma</math> (Desviación típica)</b>
<i>Inversión inicial (€)</i>	5.500.000.000	Normal. M=5.500.000.000 y $\sigma$ = 10.000.000
<i>IPC (%)</i>	1,2	Normal. M=1,2 y $\sigma$ = 0,5
<i>Precio MWh (€)</i>	50	Normal. M=50 y $\sigma$ = 5
<i>Producción anual (MWh)</i>	7.500.000	Normal. M=7.500.000 y $\sigma$ = 20.000
<i>Salario anual trabajador (€)</i>	14.000	Normal. M= 14.000 y $\sigma$ = 500
<i>Tasa de descuento (%)</i>	5	Normal. M= 5 y $\sigma$ = 0,5

**Tabla 9** –Distribuciones de probabilidad. **FUENTE:** Elaboración propia.

Ahora que ya se han definido las distribuciones de probabilidad para cada variable crítica, se procede a realizar el análisis de Montecarlo.

Para ello se realiza en una hoja de cálculo Excel una macro que permita realizar 1000 iteraciones en el cálculo del VAN tomando valores aleatorios de todas las variables descritas en la Tabla 9.

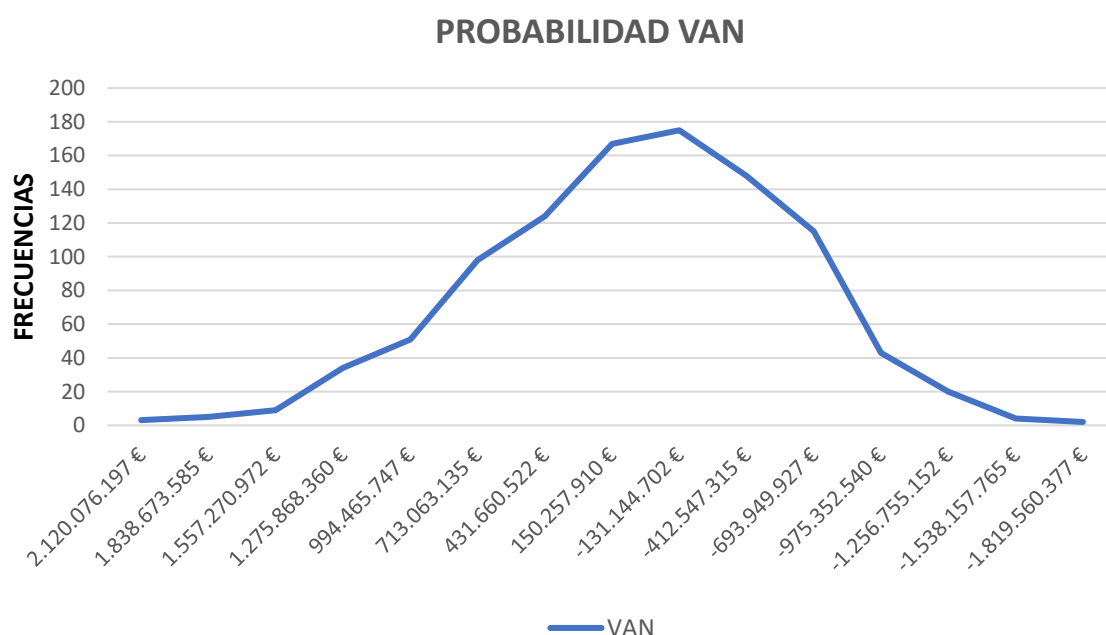
Una vez se han obtenido los 1000 resultados del VAN, es necesario contabilizar la frecuencia con la que se producen cada uno de ellos. Esto reflejará la probabilidad de viabilidad y rentabilidad del proyecto.

A continuación, una tabla con las frecuencias obtenidas en el análisis:

<b>Valores de VAN</b>	<b>Frecuencia</b>
2.120.076.197 € - 1.838.673.584 €	3
1.838.673.584 € - 1.557.270.972 €	5
1.557.270.972 € - 1.275.868.359 €	9
1.275.868.359 € - 994.465.747 €	34
994.465.747 € - 713.063.134 €	51
713.063.134 € - 431.660.522 €	98
431.660.522 € - 150.257.910 €	124
150.257.910 € - -131.144.702 €	167
-131.144.702 € - -412.547.314 €	175
-412.547.314 € - -693.949.927 €	148
-693.949.927 € - -975.352.539 €	115
-975.352.539 € - -1.256.755.152 €	43
-1.256.755.152 € - -1.538.157.764 €	20
-1.538.157.764 € - -1.819.560.376 €	4
-1.819.560.376 € - -2.100.962.989 €	2

**Tabla 10** – Frecuencias de valores del VAN. **FUENTE:** Elaboración propia.

Con estos resultados, se construyen los siguientes gráficos:

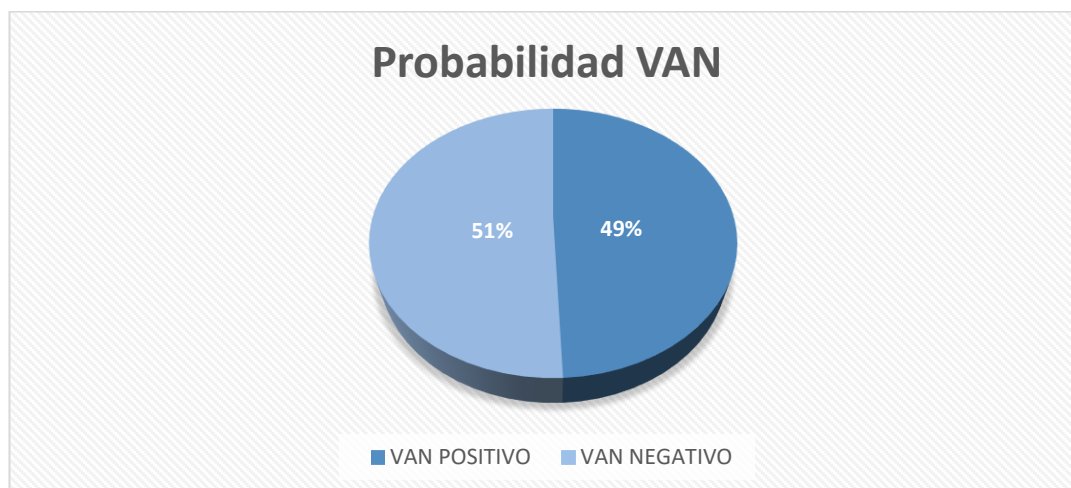


**Gráfico 3** – Probabilidad de obtención del VAN. **FUENTE:** Elaboración propia.

De los cálculos anteriores obtenemos los siguientes indicadores estadísticos:

<b>VALOR MÁXIMO</b>	2.120.076.197 €
<b>VALOR MÍNIMO</b>	-2.100.962.989 €
<b>MEDIA</b>	-115.099.768 €
<b>MEDIANA</b>	-139.831.743 €
<b>DESVIACIÓN TÍPICA</b>	638.347.711 €

**Tabla 11** – Resumen indicadores estadísticos. **FUENTE:** Elaboración propia



**Gráfico 4** – Porcentaje de probabilidad de obtención del VAN.

**FUENTE:** Elaboración propia.

De la Tabla 11 podemos recoger varios datos de interés para el análisis de riesgos del proyecto.

Por un lado, se obtiene un valor medio para el VAN de -115.099.768 €. Este valor difiere bastante del valor que se muestra en la Tabla 7 donde se exponen los resultados de los indicadores de rentabilidad para el proyecto. Esto demuestra que, la variación de cualquiera de las variables consideradas críticas (siendo esta variación directamente proporcional a lo expuesto en la Tabla 8), produce una gran variación en los indicadores del proyecto. El hecho de que el valor sea negativo quiere reflejar que la viabilidad del proyecto va a depender en gran medida de la variabilidad de estas variables críticas. Esto quiere decir que a la hora de realizar el análisis de riesgos del proyecto en fase de diseño y presupuestación habrá que tenerlo muy presente.

## 6. RESULTADOS

Como se expuso en apartados anteriores de este documento, una vez se obtuvieran los indicadores de rentabilidad del proyecto de estudio, se calcularían los mismos indicadores tanto para una central nuclear de fisión tipo como para una central térmica de ciclo combinado.

De esta manera podremos comparar haciendo uso de estos indicadores la viabilidad y la rentabilidad de este proyecto con centrales que están en la actualidad en operación y se han demostrado efectivas y viables para formar parte del mix energético.

### 6.1. COMPARATIVA FUSIÓN, FISIÓN Y CICLO COMBINADO

Estos son los indicadores de rentabilidad obtenidos para cada una de las tipologías tomando mismos horizontes temporales, valores de IPC y tasa de descuento. Los únicos valores que cambian en los cálculos de cada tipología son los intrínsecos a esta (precios combustibles, precio venta energía, horas producidas al año, etc.). De esta manera será más sencillo realizar una comparativa.

El resto de los cálculos inherentes a la obtención de los indicadores de rentabilidad mencionados a continuación se muestra en el Anexo 2 de este documento.

#### ▪ FUSIÓN NUCLEAR

<b>VAN</b>	<b>516.746.454 €</b>
<b>TIR</b>	<b>5%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

#### ▪ FISIÓN NUCLEAR

<b>VAN</b>	<b>1.891.059.212 €</b>
<b>TIR</b>	<b>8%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

#### ▪ CICLO COMBINADO

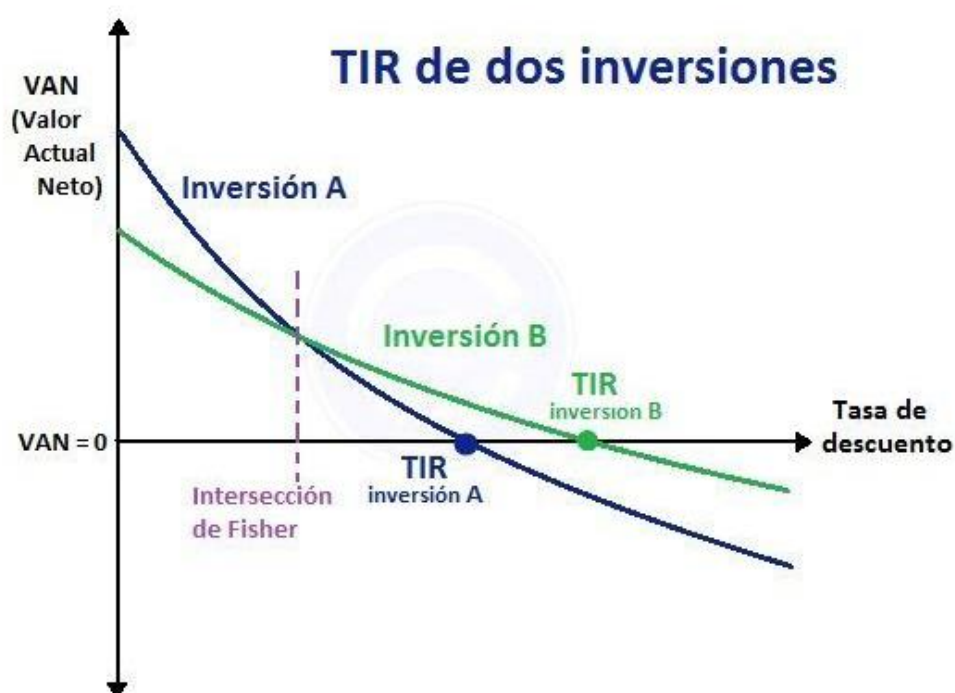
<b>VAN</b>	<b>233.260.874 €</b>
<b>TIR</b>	<b>11%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

Ahora se procede a realizar una comparativa de los datos obtenidos para los indicadores de rentabilidad. A la hora de realizar esta comparativa nos podemos encontrar con 2 casos:

1. Una de las tipologías es la más rentable según los dos indicadores, no genera ninguna duda.
2. Existe una tipología que es la más rentable según valores de VAN, pero no es la más rentable en cuanto a valores de TIR.

En este estudio se presenta un caso tipo 2, donde el VAN de la central de fisión nuclear es el más rentable, pero es el TIR de la central de ciclo combinado el que refleja una posición superior o de mayor rentabilidad.

En este caso, se tendría que realizar un gráfico como el que se muestra a continuación en el que compararíamos ambos proyectos.



**Gráfico 5** – Comparativa de dos proyectos por VAN y TIR.

**FUENTE:** Economipedia

En el gráfico anterior se muestran las curvas de los valores del VAN para dos proyectos A y B para los distintos valores de tasa de descuento. Como se puede observar, es un caso igual que el de este estudio en el que el proyecto A (sería la central de fisión en este caso), tiene valores de VAN superiores a la izquierda del

punto de intersección de las dos curvas (Intersección de Fisher), y el proyecto B (en este caso la central de ciclo combinado), tiene un valor de TIR mayor.

Cuando se da un caso como este, se ha de decidir que, para trabajar con tasas de descuento por debajo de la correspondiente al punto de intersección de las curvas se elegirá al proyecto con mayor VAN, mientras que para trabajar con tasas de descuento superiores a la correspondiente a la intersección de las dos curvas se tomará el proyecto con un valor de TIR más elevado.

En este caso, al hacer este estudio con una tasa de descuento del 4%, la alternativa más rentable sería la central de fisión nuclear.

## 7. CONCLUSIONES

Este estudio ha tenido como objetivo principal analizar la viabilidad socioeconómica y medioambiental de la implantación de las centrales de fusión termonuclear en el mix energético del futuro.

Es importante mencionar que gran parte de este estudio se fundamenta en datos teóricos ya que esta tipología de generación de energía está aún en fase de desarrollo. Para realizar el estudio de una manera lo más veraz posible, se ha tomado como referencia el proyecto ITER.

Para estudiar la viabilidad socioeconómica se ha efectuado un Análisis Coste-Beneficio sobre los parámetros que se consideran más relevantes en el proyecto. En este análisis se han calculado todos los flujos monetarios del proyecto y se han obtenido los indicadores económicos de rentabilidad. Como resultado, se obtuvieron valores de VAN (Valor Actualizado Neto), y TIR (Tasa Interna de Retorno) que confirman la rentabilidad del proyecto planteado en términos socioeconómicos.

Como complemento a los datos obtenidos se ha realizado un análisis de riesgos y sensibilidad dónde, se identifican como variables críticas y con mayor efecto sobre la rentabilidad del proyecto la inversión inicial, es decir, todos los costes asociados a la construcción, la fabricación de componentes y las acciones necesarias para la puesta en marcha de la central, el valor del IPC, el precio de venta del MWh, la producción anual de la central, el salario de los trabajadores y la tasa de descuento. Con estas variables, se ha realizado un estudio del efecto que tiene la variabilidad de éstas sobre la viabilidad del proyecto. En este estudio, se obtienen resultados que nos indican que los riesgos a asumir con las variaciones de cualquiera de estas variables críticas son muy grandes.

Al obtener estos resultados, es importante plantearse otras alternativas por lo que se ha realizado una comparativa de indicadores de rentabilidad tanto para una central de fisión nuclear como para una central térmica de ciclo combinado. Ambos indicadores han mostrado ser más prometedores que los obtenidos en la fusión.

A pesar de ello, hay que mencionar que la central de ciclo combinado de la cual se han obtenido los datos para la obtención de los indicadores de rentabilidad produce

aproximadamente un séptimo de energía anual que las otras dos centrales. Es por tanto probable que, ya que el mayor beneficio actualmente que puede aportar esta tipología es social y medioambiental, los gobiernos invertirán en el desarrollo y la implantación de la fusión mientras que la empresa privada seguirá optando por otras formas de generación como la fisión.

Para concluir, la fusión nuclear es la mejor opción para asegurar la sostenibilidad y es viable y rentable su inserción en el mix energético del futuro cuando la tecnología de ésta esté más avanzada y los riesgos se hayan atenuado.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] European Comission (2014), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects– Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. (Directorate General for Regional and Urban policy).
- [2] LOOMIS, J.B. (2011), “Incorporating distributional issues into Benefit Cost Analysis: why, how, and two empirical examples using non-market valuation” en *Journal of Benefit-Cost Analysis* (2 (1), article 5).
- [3] PEARCE, D. W. & NASH, C. A. (1981), “The social appraisal of projects: A text in Cost-Benefit Analysis” en *Journal of Social Policy, Cambridge University Press*.
- [4] Coss Bu, Raúl (2005), *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: LIMUSA.
- [5] Instituto Nacional de Estadística. (2019) Disponible en: <http://www.ine.es/>
- [6] Foro de la Industria Nuclear Española. (2018) Disponible en: <https://www.foronuclear.org/es/>
- [7] ITER Official Site. (2018) Disponible en: <https://www.iter.org/>
- [8] World Nuclear Association. (2018) Disponible en: <http://www.world-nuclear.org/>
- [9] Recursos en Project Management. (2019). Disponible en: <https://www.rekursosenprojectmanagement.com/>
- [10] Red Eléctrica de España. (2018) Disponible en: <https://www.ree.es/es/>
- [11] Comisión Nacional de Energía. (2018). Disponible en: <https://www.cne.gob.do/>
- [12] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2018). Disponible en: <https://www.cnmc.es/>
- [13] Ciclo del Carbono. (2018) Disponible en: <https://www.ciclodelfcarbono.com/>

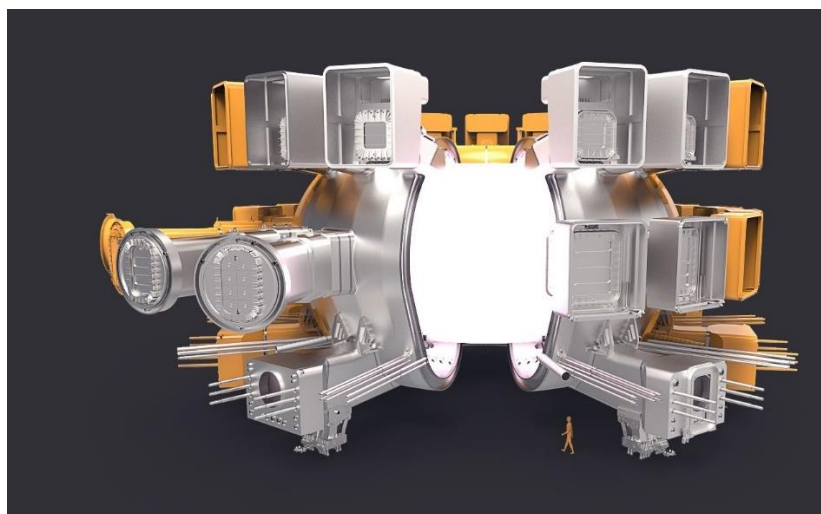
## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO 1 - TOKAMAK

Las centrales de generación de energía producen electricidad en el proceso de conversión de energía mecánica en energía eléctrica, como por ejemplo con el movimiento de rotación de una turbina. En una central térmica de carbón, la combustión del carbón convierte el agua en vapor y el vapor a su vez impulsa los generadores de la turbina para producir electricidad. Las centrales eléctricas actuales dependen de combustibles fósiles, fisión nuclear o fuentes renovables como la hidroeléctrica.

El Tokamak es una máquina experimental diseñada para aprovechar la energía obtenida en la fusión nuclear. Dentro de un Tokamak, la energía producida a través de la fusión de los átomos de Deuterio y Tritio se absorbe en forma de calor en las paredes de la vasija. Al igual que una central eléctrica convencional, una central nuclear de fusión utilizará el calor absorbido en las paredes de la vasija para producir vapor y a continuación energía eléctrica a partir de turbinas y generadores.

El corazón de un Tokamak es su cámara de vacío. Ésta es un recipiente de acero cerrado herméticamente que alberga en su interior las reacciones de fusión y se comporta como una primera barrera de contención de seguridad. En su cámara en forma de toroide, las partículas de plasma giran continuamente sin tocar las paredes.



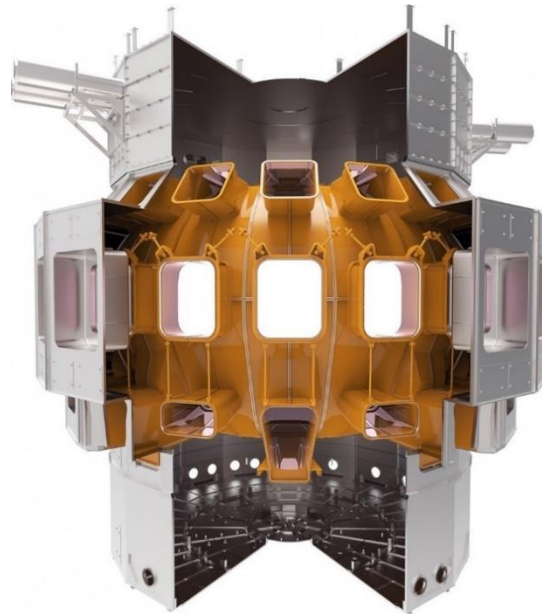
**Figura 16** – Cámara de vacío del Tokamak ITER. FUENTE: <https://www.iter.org>

El recipiente de vacío, ver Figura 16 proporciona un ambiente de alto vacío para el plasma, y además mejora la protección contra la radiación y la estabilidad del plasma, actuando como la principal barrera de confinamiento y contención para la radioactividad. A través de las paredes de acero doblemente reforzado de la vasija circula el agua de refrigeración que será el encargado de eliminar el calor generado durante el proceso.



**Figura 17** – Criostato del Tokamak ITER. FUENTE: <https://www.iter.org>

Entre el recipiente de vacío y el criostato<sup>3</sup> (ver Figura 17), se interponen dos capas de blindaje térmico para contribuir a la minimización de la radiación térmica y la conducción de ésta a los componentes y estructuras que operan a 4,5 K (como los imanes).



**Figura 18** – Cámara de vacío con blindaje térmico del Tokamak ITER.

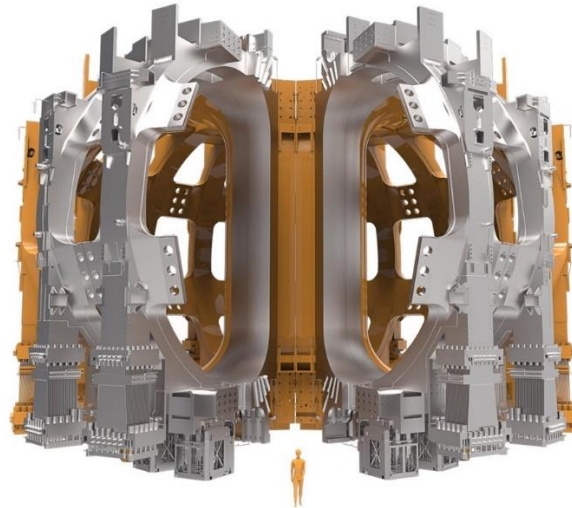
**FUENTE:** <https://www.iter.org>

El blindaje térmico, ver Figura 18, está formado por paneles de acero inoxidable con una superficie que se enfrían gracias a la circulación del Helio dentro de un tubo de enfriamiento soldado en la superficie de los paneles. Cuando el dispositivo está en funcionamiento, la temperatura del gas helio por el interior del tubo de enfriamiento varía entre 80 K y 100 K.

Las partículas cargadas contenidas en el plasma pueden ser moldeadas y controladas por las bobinas magnéticas de gran tamaño colocadas alrededor de la vasija. Esta propiedad es fundamental en el funcionamiento del Tokamak pues es lo que permite confinar el plasma a las condiciones ideales lejos de las paredes de la vasija.

Para comenzar el proceso, el aire y las impurezas se evacúan primero de la cámara de vacío. A continuación, los sistemas magnéticos que contribuirán en el confinamiento y control del plasma se cargan y es entonces cuando se introduce el combustible en estado gaseoso.

Concretamente, dieciocho imanes de campo toroidal cuya sección tiene forma de "D" se encuentran colocados alrededor del recipiente de vacío y producen un campo magnético que confinará las partículas de plasma. Las bobinas de campo toroidal están diseñadas para producir un campo magnético máximo de 11.8 Tesla.



**Figura 19** – Sistema de campo toroidal del Tokamak ITER.

**FUENTE:** <https://www.iter.org>

Las bobinas de campo toroidal están enrolladas en espiral incrustadas en placas radiales y encerradas en grandes estructuras de acero inoxidable.

Cuando atraviesa una corriente eléctrica muy elevada a través del recipiente, el gas se va descomponiendo eléctricamente, se ioniza y se convierte en plasma. A medida que las partículas de plasma se energizan y chocan, también comienzan a calentarse. Existen unos métodos de calentamiento auxiliar que ayudan a que el plasma consiga alcanzar temperaturas muy altas de fusión (entre 150 y 300 millones de ° C). Las partículas que poseen mucha energía cinética en esas temperaturas pueden superar su repulsión electromagnética natural en la colisión y entonces poder fusionarse, liberando enormes cantidades de energía.

## 9.2. ANEXO 2 - CÁLCULOS

### 9.2.1. ACB CENTRAL DE FUSIÓN

- Costes de operación y mantenimiento para todo el horizonte temporal

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>COSTE O&amp;M</b>
<b>1</b>	8,00 €	1,200%	-	<b>60.000.000 €</b>
<b>2</b>	8,00 €	1,201%	8,096 €	<b>60.720.000 €</b>
<b>3</b>	8,10 €	1,202%	8,193 €	<b>61.448.640 €</b>
<b>4</b>	8,19 €	1,204%	8,291 €	<b>62.186.024 €</b>
<b>5</b>	8,29 €	1,205%	8,391 €	<b>62.932.256 €</b>
<b>6</b>	8,39 €	1,206%	8,492 €	<b>63.687.443 €</b>
<b>7</b>	8,49 €	1,207%	8,594 €	<b>64.451.692 €</b>
<b>8</b>	8,59 €	1,208%	8,697 €	<b>65.225.113 €</b>
<b>9</b>	8,70 €	1,210%	8,801 €	<b>66.007.814 €</b>
<b>10</b>	8,80 €	1,211%	8,907 €	<b>66.799.908 €</b>
<b>11</b>	8,91 €	1,212%	9,014 €	<b>67.601.507 €</b>
<b>12</b>	9,01 €	1,213%	9,122 €	<b>68.412.725 €</b>
<b>13</b>	9,12 €	1,214%	9,231 €	<b>69.233.677 €</b>
<b>14</b>	9,23 €	1,216%	9,342 €	<b>70.064.482 €</b>
<b>15</b>	9,34 €	1,217%	9,454 €	<b>70.905.255 €</b>
<b>16</b>	9,45 €	1,218%	9,567 €	<b>71.756.118 €</b>
<b>17</b>	9,57 €	1,219%	9,682 €	<b>72.617.192 €</b>
<b>18</b>	9,68 €	1,220%	9,798 €	<b>73.488.598 €</b>
<b>19</b>	9,80 €	1,222%	9,916 €	<b>74.370.461 €</b>
<b>20</b>	9,92 €	1,223%	10,035 €	<b>75.262.907 €</b>
<b>21</b>	10,04 €	1,224%	10,155 €	<b>76.166.062 €</b>
<b>22</b>	10,16 €	1,225%	10,277 €	<b>77.080.054 €</b>
<b>23</b>	10,28 €	1,226%	10,401 €	<b>78.005.015 €</b>
<b>24</b>	10,40 €	1,228%	10,525 €	<b>78.941.075 €</b>
<b>25</b>	10,53 €	1,229%	10,652 €	<b>79.888.368 €</b>

**Tabla 12** – Costes de operación y mantenimiento. **FUENTE:** Elaboración propia

- Coste de desmantelamiento para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO DESMANTELAMIENTO ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>COSTE TOTAL DESMANTELAMIENTO</b>
<b>1</b>	-	1,20%	<b>24.750 €</b>
<b>2</b>	24.750,00 €	1,20%	<b>25.047 €</b>
<b>3</b>	25.047,30 €	1,20%	<b>25.348 €</b>
<b>4</b>	25.348,47 €	1,20%	<b>25.654 €</b>
<b>5</b>	25.653,56 €	1,20%	<b>25.963 €</b>
<b>6</b>	25.962,63 €	1,21%	<b>26.276 €</b>
<b>7</b>	26.275,74 €	1,21%	<b>26.593 €</b>
<b>8</b>	26.592,94 €	1,21%	<b>26.914 €</b>
<b>9</b>	26.914,29 €	1,21%	<b>27.240 €</b>
<b>10</b>	27.239,85 €	1,21%	<b>27.570 €</b>
<b>11</b>	27.569,67 €	1,21%	<b>27.904 €</b>
<b>12</b>	27.903,81 €	1,21%	<b>28.242 €</b>
<b>13</b>	28.242,34 €	1,21%	<b>28.585 €</b>
<b>14</b>	28.585,32 €	1,22%	<b>28.933 €</b>
<b>15</b>	28.932,80 €	1,22%	<b>29.285 €</b>
<b>16</b>	29.284,85 €	1,22%	<b>29.642 €</b>
<b>17</b>	29.641,54 €	1,22%	<b>30.003 €</b>
<b>18</b>	30.002,93 €	1,22%	<b>30.369 €</b>
<b>19</b>	30.369,09 €	1,22%	<b>30.740 €</b>
<b>20</b>	30.740,08 €	1,22%	<b>31.116 €</b>
<b>21</b>	31.115,97 €	1,22%	<b>31.497 €</b>
<b>22</b>	31.496,83 €	1,23%	<b>31.883 €</b>
<b>23</b>	31.882,73 €	1,23%	<b>32.274 €</b>
<b>24</b>	32.273,74 €	1,23%	<b>32.670 €</b>
<b>25</b>	32.669,93 €	1,23%	<b>33.071 €</b>

**Tabla 13** – Costes de desmantelamiento. **FUENTE:** Elaboración propia

- Coste de acopio de combustibles para todo el horizonte temporal:

AÑO	PRECIO DEUTERIO	PRECIO TRITIO (€)	IPC	ACTUALIZACIÓN PRECIO DEUTERIO	ACTUALIZACIÓN PRECIO TRITIO	COSTE TOTAL COMBUSTIBLE
1	700,00 €	26.720.000,00	1,600%	-	-	16.209.769,90 €
2	700,00 €	26.720.000,00	1,601%	708,400 €	27.040.640,00 €	5.047.218,34 €
3	708,40 €	27.040.640,00	1,602%	716,901 €	27.365.127,68 €	5.107.784,96 €
4	716,90 €	27.365.127,68	1,604%	725,504 €	27.693.509,21 €	5.169.078,38 €
5	725,50 €	27.693.509,21	1,605%	734,210 €	28.025.831,32 €	5.231.107,32 €
6	734,21 €	28.025.831,32	1,606%	743,020 €	28.362.141,30 €	5.293.880,61 €
7	743,02 €	28.362.141,30	1,607%	751,936 €	28.702.486,99 €	5.357.407,17 €
8	751,94 €	28.702.486,99	1,608%	760,960 €	29.046.916,84 €	5.421.696,06 €
9	760,96 €	29.046.916,84	1,610%	770,091 €	29.395.479,84 €	5.486.756,41 €
10	770,09 €	29.395.479,84	1,611%	779,332 €	29.748.225,60 €	5.552.597,49 €
11	779,33 €	29.748.225,60	1,612%	788,684 €	30.105.204,31 €	5.619.228,66 €
12	788,68 €	30.105.204,31	1,613%	798,148 €	30.466.466,76 €	5.686.659,40 €
13	798,15 €	30.466.466,76	1,614%	807,726 €	30.832.064,36 €	5.754.899,32 €
14	807,73 €	30.832.064,36	1,616%	817,419 €	31.202.049,13 €	5.823.958,11 €
15	817,42 €	31.202.049,13	1,617%	827,228 €	31.576.473,72 €	5.893.845,61 €
16	827,23 €	31.576.473,72	1,618%	837,155 €	31.955.391,40 €	5.964.571,75 €
17	837,15 €	31.955.391,40	1,619%	847,201 €	32.338.856,10 €	6.036.146,61 €
18	847,20 €	32.338.856,10	1,620%	857,367 €	32.726.922,37 €	6.108.580,37 €
19	857,37 €	32.726.922,37	1,622%	867,655 €	33.119.645,44 €	6.181.883,34 €
20	867,66 €	33.119.645,44	1,623%	878,067 €	33.517.081,19 €	6.256.065,94 €
21	878,07 €	33.517.081,19	1,624%	888,604 €	33.919.286,16 €	6.331.138,73 €
22	888,60 €	33.919.286,16	1,625%	899,267 €	34.326.317,60 €	6.407.112,39 €
23	899,27 €	34.326.317,60	1,626%	910,059 €	34.738.233,41 €	6.483.997,74 €
24	910,06 €	34.738.233,41	1,628%	920,979 €	35.155.092,21 €	6.561.805,72 €
25	920,98 €	35.155.092,21	1,629%	932,031 €	35.576.953,32 €	6.640.547 €

**Tabla 14** – Costes de acopio de combustible. **FUENTE:** Elaboración propia



- Costes totales anuales para todo el horizonte temporal:

AÑO	COSTES ANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (0&M)	COSTES DE DESMANTELAMIENTO	COSTES DE ACOPIO DE COMBUSTIBLES	COSTES SEGUROS Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	COSTES ARRENDAMIENTO (€)	COSTES DE GESTIÓN (€)	COSTES TOTALES (€)
1	60.000.000,00 €	24.750,00 €	18.209.769,90 €	48.937.000,00 €	14.681.100,00	19.574.800,00	159.427.419,90
2	60.720.000,00 €	25.047,30 €	5.047.218,34 €	49.524.381,24 €	14.887.314,37	19.809.752,50	149.983.713,75
3	61.448.840,00 €	25.348,47 €	5.107.784,98 €	50.118.951,60 €	15.036.685,48	20.047.580,84	151.783.991,15
4	62.188.023,88 €	25.653,56 €	5.169.078,38 €	50.720.800,71 €	15.218.240,21	20.288.320,28	153.606.116,83
5	62.932.255,98 €	25.962,63 €	5.231.107,32 €	51.330.019,34 €	15.399.005,80	20.532.007,73	155.450.358,79
6	63.687.443,04 €	26.275,74 €	5.293.880,61 €	51.949.699,41 €	15.584.009,82	20.778.679,76	157.316.988,38
7	64.451.892,35 €	26.592,94 €	5.357.407,17 €	52.570.934,03 €	15.771.280,21	21.028.373,61	159.206.280,32
8	65.225.112,68 €	26.914,29 €	5.421.898,08 €	53.202.817,48 €	15.960.845,25	21.281.128,89	161.118.512,74
9	66.007.814,01 €	27.239,85 €	5.486.756,41 €	53.842.445,28 €	16.152.733,58	21.538.978,10	163.053.967,21
10	66.799.907,78 €	27.569,67 €	5.552.597,49 €	54.489.914,08 €	16.348.974,22	21.795.965,62	165.012.928,84
11	67.601.506,67 €	27.903,81 €	5.619.228,66 €	55.145.321,82 €	16.543.599,55	22.058.128,73	166.995.686,25
12	68.412.724,75 €	28.242,34 €	5.688.659,40 €	55.808.767,74 €	16.742.630,32	22.323.507,10	169.002.531,66
13	69.233.677,45 €	28.585,32 €	5.754.899,32 €	56.480.352,27 €	16.944.105,88	22.592.140,91	171.033.760,95
14	70.064.481,58 €	28.932,80 €	5.823.958,11 €	57.160.177,15 €	17.148.053,15	22.864.070,86	173.089.673,65
15	70.905.255,38 €	29.284,85 €	5.893.845,61 €	57.848.345,42 €	17.354.503,63	23.139.338,17	175.170.573,03
16	71.758.118,42 €	29.641,54 €	5.964.571,75 €	58.544.961,42 €	17.563.488,43	23.417.984,57	177.276.766,14
17	72.617.191,84 €	30.002,93 €	6.036.146,61 €	59.250.130,88 €	17.775.039,26	23.700.052,34	179.408.563,85
18	73.488.598,15 €	30.369,09 €	6.108.580,37 €	59.963.960,78 €	17.989.188,23	23.985.584,31	181.566.280,91
19	74.370.481,32 €	30.740,08 €	6.181.883,34 €	60.688.559,55 €	18.205.967,86	24.274.623,82	183.750.235,97
20	75.262.906,88 €	31.115,97 €	6.256.065,94 €	61.418.037,01 €	18.425.411,10	24.567.214,80	185.960.751,68
21	76.168.061,74 €	31.498,83 €	6.331.138,73 €	62.158.504,34 €	18.647.551,30	24.863.401,74	188.198.154,68
22	77.080.054,48 €	31.882,73 €	6.407.112,39 €	62.908.074,18 €	18.872.422,26	25.163.229,67	190.462.775,72
23	78.005.015,14 €	32.273,74 €	6.483.997,74 €	63.666.860,60 €	19.100.058,18	25.468.744,24	192.754.949,63
24	78.941.075,32 €	32.669,93 €	6.561.805,72 €	64.434.979,11 €	19.330.493,73	25.773.991,65	195.075.015,45
25	79.888.368,22 €	33.071,38 €	6.640.547,38 €	65.212.546,74 €	19.563.764,02	26.085.018,70	197.423.316,45

**Tabla 15** – Costes totales anuales. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la no emisión de CO2 para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS CO2</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>1.785.000 €</b>
<b>2</b>	1.785.000 €	1,201%	<b>1.806.441 €</b>
<b>3</b>	1.806.441 €	1,202%	<b>1.828.162 €</b>
<b>4</b>	1.828.162 €	1,204%	<b>1.850.166 €</b>
<b>5</b>	1.850.166 €	1,205%	<b>1.872.457 €</b>
<b>6</b>	1.872.457 €	1,206%	<b>1.895.038 €</b>
<b>7</b>	1.895.038 €	1,207%	<b>1.917.915 €</b>
<b>8</b>	1.917.915 €	1,208%	<b>1.941.091 €</b>
<b>9</b>	1.941.091 €	1,210%	<b>1.964.571 €</b>
<b>10</b>	1.964.571 €	1,211%	<b>1.988.358 €</b>
<b>11</b>	1.988.358 €	1,212%	<b>2.012.457 €</b>
<b>12</b>	2.012.457 €	1,213%	<b>2.036.872 €</b>
<b>13</b>	2.036.872 €	1,214%	<b>2.061.608 €</b>
<b>14</b>	2.061.608 €	1,216%	<b>2.086.669 €</b>
<b>15</b>	2.086.669 €	1,217%	<b>2.112.059 €</b>
<b>16</b>	2.112.059 €	1,218%	<b>2.137.784 €</b>
<b>17</b>	2.137.784 €	1,219%	<b>2.163.848 €</b>
<b>18</b>	2.163.848 €	1,220%	<b>2.190.256 €</b>
<b>19</b>	2.190.256 €	1,222%	<b>2.217.012 €</b>
<b>20</b>	2.217.012 €	1,223%	<b>2.244.121 €</b>
<b>21</b>	2.244.121 €	1,224%	<b>2.271.589 €</b>
<b>22</b>	2.271.589 €	1,225%	<b>2.299.421 €</b>
<b>23</b>	2.299.421 €	1,226%	<b>2.327.621 €</b>
<b>24</b>	2.327.621 €	1,228%	<b>2.356.195 €</b>
<b>25</b>	2.356.195 €	1,229%	<b>2.385.148 €</b>

**Tabla 16** – Ingresos por la no emisión de CO2. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos fiscales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS FISCALES</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>75.625.000 €</b>
<b>2</b>	75.625.000 €	1,201%	<b>76.533.408 €</b>
<b>3</b>	76.533.408 €	1,202%	<b>77.453.645 €</b>
<b>4</b>	77.453.645 €	1,204%	<b>78.385.877 €</b>
<b>5</b>	78.385.877 €	1,205%	<b>79.330.270 €</b>
<b>6</b>	79.330.270 €	1,206%	<b>80.286.993 €</b>
<b>7</b>	80.286.993 €	1,207%	<b>81.256.218 €</b>
<b>8</b>	81.256.218 €	1,208%	<b>82.238.118 €</b>
<b>9</b>	82.238.118 €	1,210%	<b>83.232.870 €</b>
<b>10</b>	83.232.870 €	1,211%	<b>84.240.654 €</b>
<b>11</b>	84.240.654 €	1,212%	<b>85.261.651 €</b>
<b>12</b>	85.261.651 €	1,213%	<b>86.296.045 €</b>
<b>13</b>	86.296.045 €	1,214%	<b>87.344.024 €</b>
<b>14</b>	87.344.024 €	1,216%	<b>88.405.778 €</b>
<b>15</b>	88.405.778 €	1,217%	<b>89.481.500 €</b>
<b>16</b>	89.481.500 €	1,218%	<b>90.571.384 €</b>
<b>17</b>	90.571.384 €	1,219%	<b>91.675.631 €</b>
<b>18</b>	91.675.631 €	1,220%	<b>92.794.440 €</b>
<b>19</b>	92.794.440 €	1,222%	<b>93.928.017 €</b>
<b>20</b>	93.928.017 €	1,223%	<b>95.076.569 €</b>
<b>21</b>	95.076.569 €	1,224%	<b>96.240.306 €</b>
<b>22</b>	96.240.306 €	1,225%	<b>97.419.442 €</b>
<b>23</b>	97.419.442 €	1,226%	<b>98.614.194 €</b>
<b>24</b>	98.614.194 €	1,228%	<b>99.824.782 €</b>
<b>25</b>	99.824.782 €	1,229%	<b>101.051.429 €</b>

**Tabla 17 – Ingresos fiscales. FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la generación de empleo para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>INGRESO TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS EMPLEO</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>36.960.000 €</b>
<b>2</b>	36.960.000 €	1,201%	<b>37.403.964 €</b>
<b>3</b>	37.403.964 €	1,202%	<b>37.853.709 €</b>
<b>4</b>	37.853.709 €	1,204%	<b>38.309.316 €</b>
<b>5</b>	38.309.316 €	1,205%	<b>38.770.867 €</b>
<b>6</b>	38.770.867 €	1,206%	<b>39.238.443 €</b>
<b>7</b>	39.238.443 €	1,207%	<b>39.712.130 €</b>
<b>8</b>	39.712.130 €	1,208%	<b>40.192.011 €</b>
<b>9</b>	40.192.011 €	1,210%	<b>40.678.174 €</b>
<b>10</b>	40.678.174 €	1,211%	<b>41.170.705 €</b>
<b>11</b>	41.170.705 €	1,212%	<b>41.669.694 €</b>
<b>12</b>	41.669.694 €	1,213%	<b>42.175.231 €</b>
<b>13</b>	42.175.231 €	1,214%	<b>42.687.407 €</b>
<b>14</b>	42.687.407 €	1,216%	<b>43.206.315 €</b>
<b>15</b>	43.206.315 €	1,217%	<b>43.732.049 €</b>
<b>16</b>	43.732.049 €	1,218%	<b>44.264.706 €</b>
<b>17</b>	44.264.706 €	1,219%	<b>44.804.381 €</b>
<b>18</b>	44.804.381 €	1,220%	<b>45.351.174 €</b>
<b>19</b>	45.351.174 €	1,222%	<b>45.905.184 €</b>
<b>20</b>	45.905.184 €	1,223%	<b>46.466.512 €</b>
<b>21</b>	46.466.512 €	1,224%	<b>47.035.262 €</b>
<b>22</b>	47.035.262 €	1,225%	<b>47.611.538 €</b>
<b>23</b>	47.611.538 €	1,226%	<b>48.195.446 €</b>
<b>24</b>	48.195.446 €	1,228%	<b>48.787.093 €</b>
<b>25</b>	48.787.093 €	1,229%	<b>49.386.589 €</b>

**Tabla 18** – Ingresos por generación de empleo. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la venta de energía para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>Precio</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>INGRESOS ENERGÍA</b>
<b>1</b>	-	-	-	<b>375.000.000 €</b>
<b>2</b>	50,00 €	1,201%	50,600 €	<b>379.500.000 €</b>
<b>3</b>	50,60 €	1,202%	51,207 €	<b>384.054.000 €</b>
<b>4</b>	51,21 €	1,204%	51,822 €	<b>388.662.648 €</b>
<b>5</b>	51,82 €	1,205%	52,444 €	<b>393.326.600 €</b>
<b>6</b>	52,44 €	1,206%	53,073 €	<b>398.046.519 €</b>
<b>7</b>	53,07 €	1,207%	53,710 €	<b>402.823.077 €</b>
<b>8</b>	53,71 €	1,208%	54,354 €	<b>407.656.954 €</b>
<b>9</b>	54,35 €	1,210%	55,007 €	<b>412.548.838 €</b>
<b>10</b>	55,01 €	1,211%	55,667 €	<b>417.499.424 €</b>
<b>11</b>	55,67 €	1,212%	56,335 €	<b>422.509.417 €</b>
<b>12</b>	56,33 €	1,213%	57,011 €	<b>427.579.530 €</b>
<b>13</b>	57,01 €	1,214%	57,695 €	<b>432.710.484 €</b>
<b>14</b>	57,69 €	1,216%	58,387 €	<b>437.903.010 €</b>
<b>15</b>	58,39 €	1,217%	59,088 €	<b>443.157.846 €</b>
<b>16</b>	59,09 €	1,218%	59,797 €	<b>448.475.740 €</b>
<b>17</b>	59,80 €	1,219%	60,514 €	<b>453.857.449 €</b>
<b>18</b>	60,51 €	1,220%	61,240 €	<b>459.303.738 €</b>
<b>19</b>	61,24 €	1,222%	61,975 €	<b>464.815.383 €</b>
<b>20</b>	61,98 €	1,223%	62,719 €	<b>470.393.168 €</b>
<b>21</b>	62,72 €	1,224%	63,472 €	<b>476.037.886 €</b>
<b>22</b>	63,47 €	1,225%	64,233 €	<b>481.750.341 €</b>
<b>23</b>	64,23 €	1,226%	65,004 €	<b>487.531.345 €</b>
<b>24</b>	65,00 €	1,228%	65,784 €	<b>493.381.721 €</b>
<b>25</b>	65,78 €	1,229%	66,574 €	<b>499.302.301 €</b>

**Tabla 19** – Ingresos por venta de energía. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos totales anuales para todo el horizonte temporal:

AÑO	INGRESOS VENTA DE ENERGÍA	INGRESOS EMPLEO	INGRESOS BENEFICIOS FISCALES	INGRESOS POR AHORRO EN EMISIONES DE CO <sub>2</sub>	INGRESOS TOTALES
1	375.000.000,00 €	36.960.000,00 €	75.625.000,00 €	1.785.000,00 €	489.370.000,00 €
2	379.500.000,00 €	37.403.963,52 €	78.533.407,50 €	1.808.441,42 €	495.243.812,44 €
3	384.054.000,00 €	37.853.708,78 €	77.453.645,19 €	1.828.162,07 €	501.189.516,04 €
4	388.662.648,00 €	38.309.316,02 €	78.385.877,27 €	1.850.165,83 €	507.208.007,11 €
5	393.326.599,78 €	38.770.866,66 €	79.330.270,31 €	1.872.456,63 €	513.300.193,37 €
6	398.046.518,97 €	39.238.443,31 €	80.288.993,37 €	1.895.038,46 €	519.466.994,11 €
7	402.823.077,20 €	39.712.129,80 €	81.256.217,96 €	1.917.915,36 €	525.709.340,31 €
8	407.656.954,13 €	40.182.011,17 €	82.238.118,10 €	1.941.091,45 €	532.028.174,84 €
9	412.548.837,58 €	40.678.173,74 €	83.232.870,37 €	1.964.570,89 €	538.424.452,58 €
10	417.489.423,63 €	41.170.705,07 €	84.240.653,97 €	1.988.357,82 €	544.899.140,58 €
11	422.509.416,71 €	41.669.664,01 €	85.261.650,69 €	2.012.458,81 €	551.453.218,23 €
12	427.579.529,71 €	42.175.230,74 €	86.296.045,04 €	2.036.871,84 €	558.087.677,43 €
13	432.710.484,07 €	42.687.406,74 €	87.344.024,21 €	2.061.607,71 €	564.803.522,73 €
14	437.903.009,88 €	43.206.314,88 €	88.405.778,17 €	2.086.668,62 €	571.601.771,52 €
15	443.157.846,00 €	43.732.049,30 €	89.481.499,88 €	2.112.059,20 €	578.483.454,17 €
16	448.475.740,15 €	44.264.705,68 €	90.571.384,34 €	2.137.784,08 €	585.449.614,23 €
17	453.857.449,03 €	44.804.380,95 €	91.675.630,66 €	2.163.847,94 €	592.501.308,58 €
18	459.303.738,42 €	45.351.173,61 €	92.794.440,06 €	2.190.255,54 €	599.639.607,63 €
19	464.815.383,28 €	45.905.183,55 €	93.928.016,94 €	2.217.011,71 €	606.865.595,47 €
20	470.383.167,88 €	46.466.512,14 €	95.076.568,73 €	2.244.121,32 €	614.180.370,07 €
21	476.037.885,89 €	47.035.262,24 €	96.240.305,93 €	2.271.589,37 €	621.585.043,44 €
22	481.750.340,52 €	47.611.538,28 €	97.419.442,16 €	2.299.420,88 €	629.080.741,84 €
23	487.531.344,61 €	48.195.446,18 €	98.614.194,20 €	2.327.620,98 €	636.668.605,97 €
24	493.381.720,75 €	48.787.083,48 €	99.824.782,05 €	2.356.194,86 €	644.349.791,13 €
25	499.302.301,39 €	49.386.589,28 €	101.051.428,97 €	2.385.147,78 €	652.125.467,42 €

**Tabla 20 – Ingresos totales anuales. FUENTE:** Elaboración propia

- Beneficios anuales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>INGRESO TOTAL ANUAL</b>	<b>BENEFICIO ANUAL</b>
<b>1</b>	159.427.419,90 €	489.370.000,00 €	<b>329.942.580,10 €</b>
<b>2</b>	149.983.713,75 €	495.243.812,44 €	<b>345.260.098,69 €</b>
<b>3</b>	151.783.991,15 €	501.189.516,04 €	<b>349.405.524,89 €</b>
<b>4</b>	153.606.116,83 €	507.208.007,11 €	<b>353.601.890,28 €</b>
<b>5</b>	155.450.358,79 €	513.300.193,37 €	<b>357.849.834,58 €</b>
<b>6</b>	157.316.988,38 €	519.466.994,11 €	<b>362.150.005,73 €</b>
<b>7</b>	159.206.280,32 €	525.709.340,31 €	<b>366.503.059,99 €</b>
<b>8</b>	161.118.512,74 €	532.028.174,84 €	<b>370.909.662,11 €</b>
<b>9</b>	163.053.967,21 €	538.424.452,58 €	<b>375.370.485,37 €</b>
<b>10</b>	165.012.928,84 €	544.899.140,58 €	<b>379.886.211,74 €</b>
<b>11</b>	166.995.686,25 €	551.453.218,23 €	<b>384.457.531,98 €</b>
<b>12</b>	169.002.531,66 €	558.087.677,43 €	<b>389.085.145,77 €</b>
<b>13</b>	171.033.760,95 €	564.803.522,73 €	<b>393.769.761,78 €</b>
<b>14</b>	173.089.673,65 €	571.601.771,52 €	<b>398.512.097,87 €</b>
<b>15</b>	175.170.573,03 €	578.483.454,17 €	<b>403.312.881,14 €</b>
<b>16</b>	177.276.766,14 €	585.449.614,23 €	<b>408.172.848,09 €</b>
<b>17</b>	179.408.563,85 €	592.501.308,58 €	<b>413.092.744,73 €</b>
<b>18</b>	181.566.280,91 €	599.639.607,63 €	<b>418.073.326,73 €</b>
<b>19</b>	183.750.235,97 €	606.865.595,47 €	<b>423.115.359,50 €</b>
<b>20</b>	185.960.751,68 €	614.180.370,07 €	<b>428.219.618,39 €</b>
<b>21</b>	188.198.154,68 €	621.585.043,44 €	<b>433.386.888,75 €</b>
<b>22</b>	190.462.775,72 €	629.080.741,84 €	<b>438.617.966,12 €</b>
<b>23</b>	192.754.949,63 €	636.668.605,97 €	<b>443.913.656,34 €</b>
<b>24</b>	195.075.015,45 €	644.349.791,13 €	<b>449.274.775,67 €</b>
<b>25</b>	197.423.316,45 €	652.125.467,42 €	<b>454.702.150,98 €</b>

**Tabla 21 – Beneficios anuales. FUENTE:** Elaboración propia

- Resultados de indicadores de rentabilidad del proyecto:

<b>VAN</b>	<b>516.746.454 €</b>
<b>TIR</b>	<b>5%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

**Tabla 22 – Resultados proyecto. FUENTE:** Elaboración propia

### 9.2.2. ACB CENTRAL DE FISIÓN

- Costes de operación y mantenimiento para todo el horizonte temporal

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>COSTE O&amp;M</b>
<b>1</b>	9,71 €	1,600%	-	<b>72.825.000 €</b>
<b>2</b>	9,71 €	1,601%	9,827 €	<b>73.698.900 €</b>
<b>3</b>	9,83 €	1,602%	9,944 €	<b>74.583.287 €</b>
<b>4</b>	9,94 €	1,604%	10,064 €	<b>75.478.286 €</b>
<b>5</b>	10,06 €	1,605%	10,185 €	<b>76.384.026 €</b>
<b>6</b>	10,18 €	1,606%	10,307 €	<b>77.300.634 €</b>
<b>7</b>	10,31 €	1,607%	10,430 €	<b>78.228.242 €</b>
<b>8</b>	10,43 €	1,608%	10,556 €	<b>79.166.980 €</b>
<b>9</b>	10,56 €	1,610%	10,682 €	<b>80.116.984 €</b>
<b>10</b>	10,68 €	1,611%	10,810 €	<b>81.078.388 €</b>
<b>11</b>	10,81 €	1,612%	10,940 €	<b>82.051.329 €</b>
<b>12</b>	10,94 €	1,613%	11,071 €	<b>83.035.945 €</b>
<b>13</b>	11,07 €	1,614%	11,204 €	<b>84.032.376 €</b>
<b>14</b>	11,20 €	1,616%	11,339 €	<b>85.040.765 €</b>
<b>15</b>	11,34 €	1,617%	11,475 €	<b>86.061.254 €</b>
<b>16</b>	11,47 €	1,618%	11,613 €	<b>87.093.989 €</b>
<b>17</b>	11,61 €	1,619%	11,752 €	<b>88.139.117 €</b>
<b>18</b>	11,75 €	1,620%	11,893 €	<b>89.196.786 €</b>
<b>19</b>	11,89 €	1,622%	12,036 €	<b>90.267.147 €</b>
<b>20</b>	12,04 €	1,623%	12,180 €	<b>91.350.353 €</b>
<b>21</b>	12,18 €	1,624%	12,326 €	<b>92.446.557 €</b>
<b>22</b>	12,33 €	1,625%	12,474 €	<b>93.555.916 €</b>
<b>23</b>	12,47 €	1,626%	12,624 €	<b>94.678.587 €</b>
<b>24</b>	12,62 €	1,628%	12,775 €	<b>95.814.730 €</b>
<b>25</b>	12,78 €	1,629%	12,929 €	<b>96.964.507 €</b>

**Tabla 23** – Costes de operación y mantenimiento. **FUENTE:** Elaboración propia



- Coste de desmantelamiento para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO DESMANTELAMIENTO ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>COSTE TOTAL DESMANTELAMIENTO</b>
<b>1</b>	-	1,20%	<b>5.000.000 €</b>
<b>2</b>	5.000.000,00 €	1,20%	<b>5.060.060 €</b>
<b>3</b>	5.060.060,00 €	1,20%	<b>5.120.902 €</b>
<b>4</b>	5.120.902,16 €	1,20%	<b>5.182.537 €</b>
<b>5</b>	5.182.537,34 €	1,20%	<b>5.244.977 €</b>
<b>6</b>	5.244.976,55 €	1,21%	<b>5.308.231 €</b>
<b>7</b>	5.308.230,97 €	1,21%	<b>5.372.312 €</b>
<b>8</b>	5.372.311,93 €	1,21%	<b>5.437.231 €</b>
<b>9</b>	5.437.230,95 €	1,21%	<b>5.503.000 €</b>
<b>10</b>	5.502.999,69 €	1,21%	<b>5.569.630 €</b>
<b>11</b>	5.569.630,01 €	1,21%	<b>5.637.134 €</b>
<b>12</b>	5.637.133,93 €	1,21%	<b>5.705.524 €</b>
<b>13</b>	5.705.523,64 €	1,21%	<b>5.774.812 €</b>
<b>14</b>	5.774.811,52 €	1,22%	<b>5.845.010 €</b>
<b>15</b>	5.845.010,13 €	1,22%	<b>5.916.132 €</b>
<b>16</b>	5.916.132,21 €	1,22%	<b>5.988.191 €</b>
<b>17</b>	5.988.190,70 €	1,22%	<b>6.061.199 €</b>
<b>18</b>	6.061.198,72 €	1,22%	<b>6.135.170 €</b>
<b>19</b>	6.135.169,59 €	1,22%	<b>6.210.117 €</b>
<b>20</b>	6.210.116,82 €	1,22%	<b>6.286.054 €</b>
<b>21</b>	6.286.054,13 €	1,22%	<b>6.362.995 €</b>
<b>22</b>	6.362.995,43 €	1,23%	<b>6.440.955 €</b>
<b>23</b>	6.440.954,85 €	1,23%	<b>6.519.947 €</b>
<b>24</b>	6.519.946,72 €	1,23%	<b>6.599.986 €</b>
<b>25</b>	6.599.985,59 €	1,23%	<b>6.681.086 €</b>

**Tabla 24** – Costes de desmantelamiento. **FUENTE:** Elaboración propia

- Coste de acopio de combustibles para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO COMBUSTIBLE</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO COMBUSTIBLE</b>	<b>COSTE TOTAL COMBUSTIBLE</b>
<b>1</b>	6,38 €	1,600%	-	<b>47.850.000,00 €</b>
<b>2</b>	6,38 €	1,601%	6,457 €	<b>48.424.200,00 €</b>
<b>3</b>	6,46 €	1,602%	6,534 €	<b>49.005.290,40 €</b>
<b>4</b>	6,53 €	1,604%	6,612 €	<b>49.593.353,88 €</b>
<b>5</b>	6,61 €	1,605%	6,692 €	<b>50.188.474,13 €</b>
<b>6</b>	6,69 €	1,606%	6,772 €	<b>50.790.735,82 €</b>
<b>7</b>	6,77 €	1,607%	6,853 €	<b>51.400.224,65 €</b>
<b>8</b>	6,85 €	1,608%	6,936 €	<b>52.017.027,35 €</b>
<b>9</b>	6,94 €	1,610%	7,019 €	<b>52.641.231,67 €</b>
<b>10</b>	7,02 €	1,611%	7,103 €	<b>53.272.926,45 €</b>
<b>11</b>	7,10 €	1,612%	7,188 €	<b>53.912.201,57 €</b>
<b>12</b>	7,19 €	1,613%	7,275 €	<b>54.559.147,99 €</b>
<b>13</b>	7,27 €	1,614%	7,362 €	<b>55.213.857,77 €</b>
<b>14</b>	7,36 €	1,616%	7,450 €	<b>55.876.424,06 €</b>
<b>15</b>	7,45 €	1,617%	7,540 €	<b>56.546.941,15 €</b>
<b>16</b>	7,54 €	1,618%	7,630 €	<b>57.225.504,44 €</b>
<b>17</b>	7,63 €	1,619%	7,722 €	<b>57.912.210,50 €</b>
<b>18</b>	7,72 €	1,620%	7,814 €	<b>58.607.157,02 €</b>
<b>19</b>	7,81 €	1,622%	7,908 €	<b>59.310.442,91 €</b>
<b>20</b>	7,91 €	1,623%	8,003 €	<b>60.022.168,22 €</b>
<b>21</b>	8,00 €	1,624%	8,099 €	<b>60.742.434,24 €</b>
<b>22</b>	8,10 €	1,625%	8,196 €	<b>61.471.343,45 €</b>
<b>23</b>	8,20 €	1,626%	8,295 €	<b>62.208.999,57 €</b>
<b>24</b>	8,29 €	1,628%	8,394 €	<b>62.955.507,57 €</b>
<b>25</b>	8,39 €	1,629%	8,495 €	<b>63.710.973,66 €</b>

**Tabla 25** – Costes de acopio de combustible. **FUENTE:** Elaboración propia

- Costes totales anuales para todo el horizonte temporal:

AÑO	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)	COSTES DE DESMANTELAMIENTO	COSTES DE ACOPIO DE COMBUSTIBLES	COSTES SEGUROS Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES (€)	COSTES ARRENDAMIENTO	COSTES DE GESTIÓN (€)	COSTES TOTALES (€)
1	72.825.000,00 €	5.000.000,00 €	47.850.000,00 €	55.287.600,00	16.586.280,00 €	22.115.040,00	219.663.920,00
2	73.698.900,00 €	5.060.060,00 €	48.424.200,00 €	55.951.130,64	16.785.339,19 €	22.380.452,26	222.300.082,09
3	74.583.286,80 €	5.120.902,16 €	49.005.290,40 €	56.622.705,00	16.986.811,50 €	22.649.082,00	224.968.077,86
4	75.478.286,24 €	5.182.537,34 €	49.593.353,88 €	57.302.421,55	17.190.726,46 €	22.920.968,62	227.668.294,09
5	76.384.025,68 €	5.244.976,55 €	50.188.474,13 €	57.990.379,97	17.397.113,99 €	23.196.151,99	230.401.122,31
6	77.300.633,98 €	5.308.230,97 €	50.790.735,82 €	58.686.681,20	17.606.004,36 €	23.474.672,48	233.166.958,81
7	78.228.241,59 €	5.372.311,93 €	51.400.224,65 €	59.391.427,40	17.817.428,22 €	23.756.570,96	235.966.204,76
8	79.166.980,49 €	5.437.230,95 €	52.017.027,35 €	60.104.722,03	18.031.416,61 €	24.041.888,81	238.799.266,23
9	80.116.984,26 €	5.502.999,69 €	52.641.231,67 €	60.826.669,80	18.248.000,94 €	24.330.667,92	241.666.554,28
10	81.078.388,07 €	5.569.630,01 €	53.272.926,45 €	61.557.376,73	18.467.213,02 €	24.622.950,69	244.568.484,98
11	82.051.328,73 €	5.637.133,93 €	53.912.201,57 €	62.296.950,17	18.689.085,05 €	24.918.780,07	247.505.479,51
12	83.035.944,67 €	5.705.523,64 €	54.559.147,99 €	63.045.498,77	18.913.649,63 €	25.218.199,51	250.477.964,22
13	84.032.376,01 €	5.774.811,52 €	55.213.857,77 €	63.803.132,57	19.140.939,77 €	25.521.253,03	253.486.370,66
14	85.040.764,52 €	5.845.010,13 €	55.876.424,06 €	64.569.962,93	19.370.988,88 €	25.827.985,17	256.531.135,69
15	86.061.253,69 €	5.916.132,21 €	56.546.941,15 €	65.346.102,62	19.603.830,79 €	26.138.441,05	259.612.701,51
16	87.093.988,74 €	5.988.190,70 €	57.225.504,44 €	66.131.665,81	19.839.499,74 €	26.452.666,32	262.731.515,75
17	88.139.116,60 €	6.061.198,72 €	57.912.210,50 €	66.926.768,07	20.078.030,42 €	26.770.707,23	265.888.031,53
18	89.196.786,00 €	6.135.169,59 €	58.607.157,02 €	67.731.526,41	20.319.457,92 €	27.092.610,57	269.082.707,52
19	90.267.147,43 €	6.210.116,82 €	59.310.442,91 €	68.546.059,32	20.563.817,80 €	27.418.423,73	272.316.008,00
20	91.350.353,20 €	6.286.054,13 €	60.022.168,22 €	69.370.486,72	20.811.146,02 €	27.748.194,69	275.588.402,97
21	92.446.557,44 €	6.362.995,43 €	60.742.434,24 €	70.204.930,04	21.061.479,01 €	28.081.972,02	278.900.368,19
22	93.555.916,13 €	6.440.954,85 €	61.471.343,45 €	71.049.512,24	21.314.853,67 €	28.419.804,90	282.252.385,24
23	94.678.587,12 €	6.519.946,72 €	62.208.999,57 €	71.904.357,76	21.571.307,33 €	28.761.743,11	285.644.941,62
24	95.814.730,17 €	6.599.985,59 €	62.955.507,57 €	72.769.592,64	21.830.877,79 €	29.107.837,06	289.078.530,81
25	96.964.506,93 €	6.681.086,21 €	63.710.973,66 €	73.645.344,44	22.093.603,33 €	29.458.137,78	292.553.652,35

**Tabla 26 – Costes totales anuales. FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la no emisión de CO2 para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS CO2</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>1.785.000 €</b>
<b>2</b>	1.785.000 €	1,201%	<b>1.806.441 €</b>
<b>3</b>	1.806.441 €	1,202%	<b>1.828.162 €</b>
<b>4</b>	1.828.162 €	1,204%	<b>1.850.166 €</b>
<b>5</b>	1.850.166 €	1,205%	<b>1.872.457 €</b>
<b>6</b>	1.872.457 €	1,206%	<b>1.895.038 €</b>
<b>7</b>	1.895.038 €	1,207%	<b>1.917.915 €</b>
<b>8</b>	1.917.915 €	1,208%	<b>1.941.091 €</b>
<b>9</b>	1.941.091 €	1,210%	<b>1.964.571 €</b>
<b>10</b>	1.964.571 €	1,211%	<b>1.988.358 €</b>
<b>11</b>	1.988.358 €	1,212%	<b>2.012.457 €</b>
<b>12</b>	2.012.457 €	1,213%	<b>2.036.872 €</b>
<b>13</b>	2.036.872 €	1,214%	<b>2.061.608 €</b>
<b>14</b>	2.061.608 €	1,216%	<b>2.086.669 €</b>
<b>15</b>	2.086.669 €	1,217%	<b>2.112.059 €</b>
<b>16</b>	2.112.059 €	1,218%	<b>2.137.784 €</b>
<b>17</b>	2.137.784 €	1,219%	<b>2.163.848 €</b>
<b>18</b>	2.163.848 €	1,220%	<b>2.190.256 €</b>
<b>19</b>	2.190.256 €	1,222%	<b>2.217.012 €</b>
<b>20</b>	2.217.012 €	1,223%	<b>2.244.121 €</b>
<b>21</b>	2.244.121 €	1,224%	<b>2.271.589 €</b>
<b>22</b>	2.271.589 €	1,225%	<b>2.299.421 €</b>
<b>23</b>	2.299.421 €	1,226%	<b>2.327.621 €</b>
<b>24</b>	2.327.621 €	1,228%	<b>2.356.195 €</b>
<b>25</b>	2.356.195 €	1,229%	<b>2.385.148 €</b>

**Tabla 27** – Ingresos por la no emisión de CO2. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos fiscales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS FISCALES</b>
<b>1</b>	-	1,200%	33.000.000 €
<b>2</b>	33.000.000 €	1,201%	33.396.396 €
<b>3</b>	33.396.396 €	1,202%	33.797.954 €
<b>4</b>	33.797.954 €	1,204%	34.204.746 €
<b>5</b>	34.204.746 €	1,205%	34.616.845 €
<b>6</b>	34.616.845 €	1,206%	35.034.324 €
<b>7</b>	35.034.324 €	1,207%	35.457.259 €
<b>8</b>	35.457.259 €	1,208%	35.885.724 €
<b>9</b>	35.885.724 €	1,210%	36.319.798 €
<b>10</b>	36.319.798 €	1,211%	36.759.558 €
<b>11</b>	36.759.558 €	1,212%	37.205.084 €
<b>12</b>	37.205.084 €	1,213%	37.656.456 €
<b>13</b>	37.656.456 €	1,214%	38.113.756 €
<b>14</b>	38.113.756 €	1,216%	38.577.067 €
<b>15</b>	38.577.067 €	1,217%	39.046.473 €
<b>16</b>	39.046.473 €	1,218%	39.522.059 €
<b>17</b>	39.522.059 €	1,219%	40.003.912 €
<b>18</b>	40.003.912 €	1,220%	40.492.119 €
<b>19</b>	40.492.119 €	1,222%	40.986.771 €
<b>20</b>	40.986.771 €	1,223%	41.487.957 €
<b>21</b>	41.487.957 €	1,224%	41.995.770 €
<b>22</b>	41.995.770 €	1,225%	42.510.302 €
<b>23</b>	42.510.302 €	1,226%	43.031.648 €
<b>24</b>	43.031.648 €	1,228%	43.559.905 €
<b>25</b>	43.559.905 €	1,229%	44.095.169 €

**Tabla 28** – Ingresos fiscales. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la generación de empleo para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>INGRESO TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS EMPLEO</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>31.416.000 €</b>
<b>2</b>	31.416.000 €	1,201%	<b>31.793.369 €</b>
<b>3</b>	31.793.369 €	1,202%	<b>32.175.652 €</b>
<b>4</b>	32.175.652 €	1,204%	<b>32.562.919 €</b>
<b>5</b>	32.562.919 €	1,205%	<b>32.955.237 €</b>
<b>6</b>	32.955.237 €	1,206%	<b>33.352.677 €</b>
<b>7</b>	33.352.677 €	1,207%	<b>33.755.310 €</b>
<b>8</b>	33.755.310 €	1,208%	<b>34.163.209 €</b>
<b>9</b>	34.163.209 €	1,210%	<b>34.576.448 €</b>
<b>10</b>	34.576.448 €	1,211%	<b>34.995.099 €</b>
<b>11</b>	34.995.099 €	1,212%	<b>35.419.240 €</b>
<b>12</b>	35.419.240 €	1,213%	<b>35.848.946 €</b>
<b>13</b>	35.848.946 €	1,214%	<b>36.284.296 €</b>
<b>14</b>	36.284.296 €	1,216%	<b>36.725.368 €</b>
<b>15</b>	36.725.368 €	1,217%	<b>37.172.242 €</b>
<b>16</b>	37.172.242 €	1,218%	<b>37.625.000 €</b>
<b>17</b>	37.625.000 €	1,219%	<b>38.083.724 €</b>
<b>18</b>	38.083.724 €	1,220%	<b>38.548.498 €</b>
<b>19</b>	38.548.498 €	1,222%	<b>39.019.406 €</b>
<b>20</b>	39.019.406 €	1,223%	<b>39.496.535 €</b>
<b>21</b>	39.496.535 €	1,224%	<b>39.979.973 €</b>
<b>22</b>	39.979.973 €	1,225%	<b>40.469.808 €</b>
<b>23</b>	40.469.808 €	1,226%	<b>40.966.129 €</b>
<b>24</b>	40.966.129 €	1,228%	<b>41.469.029 €</b>
<b>25</b>	41.469.029 €	1,229%	<b>41.978.601 €</b>

**Tabla 29** – Ingresos por generación de empleo. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la venta de energía para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>INGRESOS ENERGÍA</b>
<b>1</b>	-	-	-	<b>486.675.000 €</b>
<b>2</b>	64,89 €	1,201%	65,669 €	<b>492.515.100 €</b>
<b>3</b>	65,67 €	1,202%	66,457 €	<b>498.425.281 €</b>
<b>4</b>	66,46 €	1,204%	67,254 €	<b>504.406.385 €</b>
<b>5</b>	67,25 €	1,205%	68,061 €	<b>510.459.261 €</b>
<b>6</b>	68,06 €	1,206%	68,878 €	<b>516.584.772 €</b>
<b>7</b>	68,88 €	1,207%	69,705 €	<b>522.783.790 €</b>
<b>8</b>	69,70 €	1,208%	70,541 €	<b>529.057.195 €</b>
<b>9</b>	70,54 €	1,210%	71,387 €	<b>535.405.881 €</b>
<b>10</b>	71,39 €	1,211%	72,244 €	<b>541.830.752 €</b>
<b>11</b>	72,24 €	1,212%	73,111 €	<b>548.332.721 €</b>
<b>12</b>	73,11 €	1,213%	73,988 €	<b>554.912.714 €</b>
<b>13</b>	73,99 €	1,214%	74,876 €	<b>561.571.666 €</b>
<b>14</b>	74,88 €	1,216%	75,775 €	<b>568.310.526 €</b>
<b>15</b>	75,77 €	1,217%	76,684 €	<b>575.130.253 €</b>
<b>16</b>	76,68 €	1,218%	77,604 €	<b>582.031.816 €</b>
<b>17</b>	77,60 €	1,219%	78,535 €	<b>589.016.197 €</b>
<b>18</b>	78,54 €	1,220%	79,478 €	<b>596.084.392 €</b>
<b>19</b>	79,48 €	1,222%	80,432 €	<b>603.237.404 €</b>
<b>20</b>	80,43 €	1,223%	81,397 €	<b>610.476.253 €</b>
<b>21</b>	81,40 €	1,224%	82,374 €	<b>617.801.968 €</b>
<b>22</b>	82,37 €	1,225%	83,362 €	<b>625.215.592 €</b>
<b>23</b>	83,36 €	1,226%	84,362 €	<b>632.718.179 €</b>
<b>24</b>	84,36 €	1,228%	85,375 €	<b>640.310.797 €</b>
<b>25</b>	85,37 €	1,229%	86,399 €	<b>647.994.527 €</b>

**Tabla 30** – Ingresos por venta de energía. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos totales anuales para todo el horizonte temporal:

AÑO	INGRESOS VENTA DE ENERGÍA	INGRESOS EMPLEO	INGRESOS BENEFICIOS FISCALES	INGRESOS POR AHORRO EN EMISIONES DE CO <sub>2</sub>	INGRESOS TOTALES
1	488.875.000,00 €	31.418.000,00 €	33.000.000,00 €	1.785.000,00 €	552.876.000,00 €
2	482.515.100,00 €	31.783.388,99 €	33.386.386,00 €	1.806.441,42 €	559.511.306,41 €
3	488.425.281,20 €	32.175.652,48 €	33.797.954,27 €	1.828.162,07 €	566.227.050,00 €
4	504.408.384,57 €	32.582.918,61 €	34.204.748,44 €	1.850.165,83 €	573.024.215,46 €
5	510.459.261,19 €	32.955.236,68 €	34.616.845,23 €	1.872.458,63 €	579.903.799,70 €
6	518.584.772,32 €	33.352.676,81 €	35.034.324,38 €	1.895.038,46 €	586.866.811,97 €
7	522.783.789,59 €	33.755.310,33 €	35.457.258,75 €	1.917.915,36 €	593.914.274,02 €
8	529.057.195,07 €	34.163.209,50 €	35.885.724,26 €	1.941.091,45 €	601.047.220,27 €
9	535.405.881,41 €	34.576.447,68 €	36.319.797,98 €	1.964.570,89 €	608.266.697,96 €
10	541.830.751,98 €	34.985.089,31 €	36.759.558,09 €	1.988.357,82 €	615.573.767,30 €
11	548.332.721,01 €	35.419.239,91 €	37.205.083,94 €	2.012.458,81 €	622.969.501,67 €
12	554.912.713,66 €	35.848.946,13 €	37.656.456,02 €	2.036.871,94 €	630.454.987,75 €
13	561.571.666,22 €	36.284.285,73 €	38.113.756,02 €	2.061.807,71 €	638.031.325,69 €
14	568.310.526,22 €	36.725.367,63 €	38.577.068,84 €	2.086.868,62 €	645.699.629,30 €
15	575.130.252,53 €	37.172.241,90 €	39.046.472,59 €	2.112.059,20 €	653.461.026,22 €
16	582.031.815,56 €	37.624.989,81 €	39.522.058,62 €	2.137.784,08 €	661.316.658,08 €
17	589.016.197,35 €	38.083.723,81 €	40.003.911,56 €	2.163.847,84 €	669.267.680,66 €
18	596.084.391,72 €	38.548.497,57 €	40.492.119,30 €	2.190.255,54 €	677.315.264,13 €
19	603.237.404,42 €	39.019.406,02 €	40.986.771,03 €	2.217.011,71 €	685.460.593,17 €
20	610.476.253,27 €	39.486.535,31 €	41.487.957,26 €	2.244.121,32 €	693.704.867,18 €
21	617.801.988,31 €	39.979.972,91 €	41.985.769,86 €	2.271.589,37 €	702.049.300,45 €
22	625.215.591,93 €	40.489.807,54 €	42.510.302,03 €	2.299.420,88 €	710.495.122,38 €
23	632.718.179,03 €	40.986.129,25 €	43.031.648,38 €	2.327.620,88 €	719.043.577,65 €
24	640.310.797,18 €	41.469.029,46 €	43.559.904,89 €	2.356.194,86 €	727.695.926,39 €
25	647.894.526,75 €	41.978.600,89 €	44.085.169,00 €	2.385.147,78 €	736.453.444,42 €

**Tabla 31 – Ingresos totales anuales. FUENTE:** Elaboración propia



- Beneficios anuales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>INGRESO TOTAL ANUAL</b>	<b>BENEFICIO ANUAL</b>
1	219.663.920,00 €	552.876.000,00 €	333.212.080,00 €
2	222.300.082,09 €	559.511.306,41 €	337.211.224,32 €
3	224.968.077,86 €	566.227.050,00 €	341.258.972,14 €
4	227.668.294,09 €	573.024.215,46 €	345.355.921,37 €
5	230.401.122,31 €	579.903.799,70 €	349.502.677,40 €
6	233.166.958,81 €	586.866.811,97 €	353.699.853,16 €
7	235.966.204,76 €	593.914.274,02 €	357.948.069,26 €
8	238.799.266,23 €	601.047.220,27 €	362.247.954,04 €
9	241.666.554,28 €	608.266.697,96 €	366.600.143,68 €
10	244.568.484,98 €	615.573.767,30 €	371.005.282,32 €
11	247.505.479,51 €	622.969.501,67 €	375.464.022,16 €
12	250.477.964,22 €	630.454.987,75 €	379.977.023,53 €
13	253.486.370,66 €	638.031.325,69 €	384.544.955,03 €
14	256.531.135,69 €	645.699.629,30 €	389.168.493,61 €
15	259.612.701,51 €	653.461.026,22 €	393.848.324,71 €
16	262.731.515,75 €	661.316.658,08 €	398.585.142,32 €
17	265.888.031,53 €	669.267.680,66 €	403.379.649,13 €
18	269.082.707,52 €	677.315.264,13 €	408.232.556,62 €
19	272.316.008,00 €	685.460.593,17 €	413.144.585,17 €
20	275.588.402,97 €	693.704.867,18 €	418.116.464,20 €
21	278.900.368,19 €	702.049.300,45 €	423.148.932,26 €
22	282.252.385,24 €	710.495.122,38 €	428.242.737,14 €
23	285.644.941,62 €	719.043.577,65 €	433.398.636,03 €
24	289.078.530,81 €	727.695.926,39 €	438.617.395,58 €
25	292.553.652,35 €	736.453.444,42 €	443.899.792,07 €

**Tabla 32 – Beneficios anuales. FUENTE:** Elaboración propia

- Resultados de indicadores de rentabilidad del proyecto:

<b>VAN</b>	<b>1.891.059.212 €</b>
<b>TIR</b>	<b>8%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

**Tabla 33 – Indicadores de rentabilidad. FUENTE:** Elaboración propia

**9.2.3. ACB CENTRAL DE CICLO COMBINADO**

- Costes de operación y mantenimiento para todo el horizonte temporal

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>COSTE O&amp;M</b>
<b>1</b>	7,00 €	1,600%	-	<b>8.750.000 €</b>
<b>2</b>	7,00 €	1,602%	7,112 €	<b>8.890.000 €</b>
<b>3</b>	7,11 €	1,603%	7,226 €	<b>9.032.240 €</b>
<b>4</b>	7,23 €	1,605%	7,341 €	<b>9.176.756 €</b>
<b>5</b>	7,34 €	1,606%	7,459 €	<b>9.323.584 €</b>
<b>6</b>	7,46 €	1,608%	7,578 €	<b>9.472.761 €</b>
<b>7</b>	7,58 €	1,610%	7,699 €	<b>9.624.325 €</b>
<b>8</b>	7,70 €	1,611%	7,823 €	<b>9.778.315 €</b>
<b>9</b>	7,82 €	1,613%	7,948 €	<b>9.934.768 €</b>
<b>10</b>	7,95 €	1,614%	8,075 €	<b>10.093.724 €</b>
<b>11</b>	8,07 €	1,616%	8,204 €	<b>10.255.224 €</b>
<b>12</b>	8,20 €	1,618%	8,335 €	<b>10.419.307 €</b>
<b>13</b>	8,34 €	1,619%	8,469 €	<b>10.586.016 €</b>
<b>14</b>	8,47 €	1,621%	8,604 €	<b>10.755.392 €</b>
<b>15</b>	8,60 €	1,622%	8,742 €	<b>10.927.479 €</b>
<b>16</b>	8,74 €	1,624%	8,882 €	<b>11.102.318 €</b>
<b>17</b>	8,88 €	1,626%	9,024 €	<b>11.279.955 €</b>
<b>18</b>	9,02 €	1,627%	9,168 €	<b>11.460.435 €</b>
<b>19</b>	9,17 €	1,629%	9,315 €	<b>11.643.802 €</b>
<b>20</b>	9,32 €	1,630%	9,464 €	<b>11.830.102 €</b>
<b>21</b>	9,46 €	1,632%	9,616 €	<b>12.019.384 €</b>
<b>22</b>	9,62 €	1,634%	9,769 €	<b>12.211.694 €</b>
<b>23</b>	9,77 €	1,635%	9,926 €	<b>12.407.081 €</b>
<b>24</b>	9,93 €	1,637%	10,084 €	<b>12.605.595 €</b>
<b>25</b>	10,08 €	1,638%	10,246 €	<b>12.807.284 €</b>

**Tabla 34** – Costes de operación y mantenimiento. **FUENTE:** Elaboración propia

- Coste de desmantelamiento para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO DESMANTELAMIENTO ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>COSTE TOTAL DESMANTELAMIENTO</b>
<b>1</b>	-	1,20%	<b>0 €</b>
<b>2</b>	675.000,00 €	1,20%	<b>683.108 €</b>
<b>3</b>	683.108,10 €	1,20%	<b>691.322 €</b>
<b>4</b>	691.321,79 €	1,20%	<b>699.643 €</b>
<b>5</b>	699.642,54 €	1,20%	<b>708.072 €</b>
<b>6</b>	708.071,83 €	1,21%	<b>716.611 €</b>
<b>7</b>	716.611,18 €	1,21%	<b>725.262 €</b>
<b>8</b>	725.262,11 €	1,21%	<b>734.026 €</b>
<b>9</b>	734.026,18 €	1,21%	<b>742.905 €</b>
<b>10</b>	742.904,96 €	1,21%	<b>751.900 €</b>
<b>11</b>	751.900,05 €	1,21%	<b>761.013 €</b>
<b>12</b>	761.013,08 €	1,21%	<b>770.246 €</b>
<b>13</b>	770.245,69 €	1,21%	<b>779.600 €</b>
<b>14</b>	779.599,55 €	1,22%	<b>789.076 €</b>
<b>15</b>	789.076,37 €	1,22%	<b>798.678 €</b>
<b>16</b>	798.677,85 €	1,22%	<b>808.406 €</b>
<b>17</b>	808.405,74 €	1,22%	<b>818.262 €</b>
<b>18</b>	818.261,83 €	1,22%	<b>828.248 €</b>
<b>19</b>	828.247,89 €	1,22%	<b>838.366 €</b>
<b>20</b>	838.365,77 €	1,22%	<b>848.617 €</b>
<b>21</b>	848.617,31 €	1,22%	<b>859.004 €</b>
<b>22</b>	859.004,38 €	1,23%	<b>869.529 €</b>
<b>23</b>	869.528,91 €	1,23%	<b>880.193 €</b>
<b>24</b>	880.192,81 €	1,23%	<b>890.998 €</b>
<b>25</b>	890.998,05 €	1,23%	<b>901.947 €</b>

**Tabla 35** – Coste de desmantelamiento. **FUENTE:** Elaboración propia

- Coste de acopio de combustibles para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO COMBUSTIBLE</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO COMBUSTIBLE</b>	<b>COSTE TOTAL COMBUSTIBLE</b>
<b>1</b>	30,00 €	1,600%	-	<b>33.750.000,00 €</b>
<b>2</b>	30,00 €	1,601%	30,360 €	<b>34.155.000,00 €</b>
<b>3</b>	30,36 €	1,602%	30,724 €	<b>34.564.860,00 €</b>
<b>4</b>	30,72 €	1,604%	31,093 €	<b>34.979.638,32 €</b>
<b>5</b>	31,09 €	1,605%	31,466 €	<b>35.399.393,98 €</b>
<b>6</b>	31,47 €	1,606%	31,844 €	<b>35.824.186,71 €</b>
<b>7</b>	31,84 €	1,607%	32,226 €	<b>36.254.076,95 €</b>
<b>8</b>	32,23 €	1,608%	32,613 €	<b>36.689.125,87 €</b>
<b>9</b>	32,61 €	1,610%	33,004 €	<b>37.129.395,38 €</b>
<b>10</b>	33,00 €	1,611%	33,400 €	<b>37.574.948,13 €</b>
<b>11</b>	33,40 €	1,612%	33,801 €	<b>38.025.847,50 €</b>
<b>12</b>	33,80 €	1,613%	34,206 €	<b>38.482.157,67 €</b>
<b>13</b>	34,21 €	1,614%	34,617 €	<b>38.943.943,57 €</b>
<b>14</b>	34,62 €	1,616%	35,032 €	<b>39.411.270,89 €</b>
<b>15</b>	35,03 €	1,617%	35,453 €	<b>39.884.206,14 €</b>
<b>16</b>	35,45 €	1,618%	35,878 €	<b>40.362.816,61 €</b>
<b>17</b>	35,88 €	1,619%	36,309 €	<b>40.847.170,41 €</b>
<b>18</b>	36,31 €	1,620%	36,744 €	<b>41.337.336,46 €</b>
<b>19</b>	36,74 €	1,622%	37,185 €	<b>41.833.384,50 €</b>
<b>20</b>	37,19 €	1,623%	37,631 €	<b>42.335.385,11 €</b>
<b>21</b>	37,63 €	1,624%	38,083 €	<b>42.843.409,73 €</b>
<b>22</b>	38,08 €	1,625%	38,540 €	<b>43.357.530,65 €</b>
<b>23</b>	38,54 €	1,626%	39,003 €	<b>43.877.821,01 €</b>
<b>24</b>	39,00 €	1,628%	39,471 €	<b>44.404.354,87 €</b>
<b>25</b>	39,47 €	1,629%	39,944 €	<b>44.937.207,13 €</b>

**Tabla 36** – Coste de acopio de combustibles. **FUENTE:** Elaboración propia

- Costes totales anuales para todo el horizonte temporal:

AÑO	COSTES DE DESMANTEAMIENTO	COSTES DE ACOPIO DE COMBUSTIBLES	COSTES SEGUROS Y PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	COSTES ARRENDAMIENTO	COSTES DE GESTIÓN	COSTES TOTALES
1	0,00 €	33.750.000,00 €	8.675.430,00 €	2.602.629,00 €	3.470.172,00 €	57.248.231,00 €
2	683.106,10 €	34.155.000,00 €	8.779.539,50 €	2.633.861,85 €	3.511.815,80 €	58.853.325,25 €
3	691.321,79 €	34.564.860,00 €	8.884.902,76 €	2.665.470,83 €	3.553.981,10 €	59.392.756,48 €
4	699.642,54 €	34.979.638,32 €	8.991.534,93 €	2.697.460,48 €	3.596.613,97 €	60.141.646,06 €
5	708.071,83 €	35.399.393,98 €	9.099.451,34 €	2.729.835,40 €	3.639.780,54 €	60.900.117,03 €
6	716.611,18 €	35.824.186,71 €	9.208.667,52 €	2.762.600,26 €	3.683.467,01 €	61.668.293,95 €
7	725.262,11 €	36.254.076,95 €	9.319.199,18 €	2.795.759,75 €	3.727.679,67 €	62.446.303,12 €
8	734.026,18 €	36.689.125,87 €	9.431.062,21 €	2.829.318,68 €	3.772.424,88 €	63.234.272,47 €
9	742.904,96 €	37.129.395,38 €	9.544.272,71 €	2.863.281,81 €	3.817.709,09 €	64.032.331,85 €
10	751.900,05 €	37.574.948,13 €	9.658.846,98 €	2.897.654,09 €	3.863.536,79 €	64.840.612,02 €
11	761.013,08 €	38.025.847,50 €	9.774.601,49 €	2.932.440,45 €	3.909.920,60 €	65.659.246,68 €
12	770.245,69 €	38.482.157,87 €	9.892.152,93 €	2.967.645,88 €	3.956.861,17 €	66.488.370,49 €
13	779.599,55 €	38.943.943,57 €	10.010.916,20 €	3.003.275,48 €	4.004.367,28 €	67.328.120,11 €
14	789.076,37 €	39.411.270,89 €	10.131.114,38 €	3.039.334,31 €	4.052.445,75 €	68.178.634,02 €
15	798.677,85 €	39.884.206,14 €	10.252.758,79 €	3.075.827,64 €	4.101.103,51 €	69.040.052,51 €
16	808.405,74 €	40.362.816,61 €	10.375.868,92 €	3.112.760,68 €	4.150.347,57 €	69.912.517,77 €
17	818.261,83 €	40.847.170,41 €	10.500.462,52 €	3.150.138,75 €	4.200.185,01 €	70.796.173,86 €
18	828.247,89 €	41.337.338,48 €	10.626.557,51 €	3.187.967,25 €	4.250.623,00 €	71.691.166,74 €
19	838.365,77 €	41.833.364,50 €	10.754.172,08 €	3.226.251,62 €	4.301.688,82 €	72.597.644,34 €
20	848.617,31 €	42.335.365,11 €	10.883.324,54 €	3.264.997,38 €	4.353.329,62 €	73.515.756,55 €
21	859.004,38 €	42.843.409,73 €	11.014.033,57 €	3.304.210,07 €	4.405.613,43 €	74.445.655,22 €
22	869.526,91 €	43.357.530,65 €	11.146.317,98 €	3.343.895,39 €	4.458.527,18 €	75.387.494,27 €
23	880.192,81 €	43.877.621,01 €	11.280.196,78 €	3.384.059,03 €	4.512.076,71 €	76.341.429,64 €
24	890.998,05 €	44.404.354,87 €	11.415.689,31 €	3.424.708,79 €	4.566.275,72 €	77.307.619,34 €
25	901.946,64 €	44.937.207,13 €	11.552.815,07 €	3.465.844,52 €	4.621.126,03 €	78.286.223,50 €

**Tabla 37 – Coste totales. FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos fiscales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>COSTE TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS FISCALES</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>2.970.000 €</b>
<b>2</b>	2.970.000 €	1,201%	<b>3.005.676 €</b>
<b>3</b>	3.005.676 €	1,202%	<b>3.041.816 €</b>
<b>4</b>	3.041.816 €	1,204%	<b>3.078.427 €</b>
<b>5</b>	3.078.427 €	1,205%	<b>3.115.516 €</b>
<b>6</b>	3.115.516 €	1,206%	<b>3.153.089 €</b>
<b>7</b>	3.153.089 €	1,207%	<b>3.191.153 €</b>
<b>8</b>	3.191.153 €	1,208%	<b>3.229.715 €</b>
<b>9</b>	3.229.715 €	1,210%	<b>3.268.782 €</b>
<b>10</b>	3.268.782 €	1,211%	<b>3.308.360 €</b>
<b>11</b>	3.308.360 €	1,212%	<b>3.348.458 €</b>
<b>12</b>	3.348.458 €	1,213%	<b>3.389.081 €</b>
<b>13</b>	3.389.081 €	1,214%	<b>3.430.238 €</b>
<b>14</b>	3.430.238 €	1,216%	<b>3.471.936 €</b>
<b>15</b>	3.471.936 €	1,217%	<b>3.514.183 €</b>
<b>16</b>	3.514.183 €	1,218%	<b>3.556.985 €</b>
<b>17</b>	3.556.985 €	1,219%	<b>3.600.352 €</b>
<b>18</b>	3.600.352 €	1,220%	<b>3.644.291 €</b>
<b>19</b>	3.644.291 €	1,222%	<b>3.688.809 €</b>
<b>20</b>	3.688.809 €	1,223%	<b>3.733.916 €</b>
<b>21</b>	3.733.916 €	1,224%	<b>3.779.619 €</b>
<b>22</b>	3.779.619 €	1,225%	<b>3.825.927 €</b>
<b>23</b>	3.825.927 €	1,226%	<b>3.872.848 €</b>
<b>24</b>	3.872.848 €	1,228%	<b>3.920.391 €</b>
<b>25</b>	3.920.391 €	1,229%	<b>3.968.565 €</b>

**Tabla 38** – Ingresos fiscales. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la generación de empleo para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>INGRESO TOTAL ANUAL</b>	<b>IPC</b>	<b>INGRESOS EMPLEO</b>
<b>1</b>	-	1,200%	<b>646.800 €</b>
<b>2</b>	646.800 €	1,201%	<b>654.569 €</b>
<b>3</b>	654.569 €	1,202%	<b>662.440 €</b>
<b>4</b>	662.440 €	1,204%	<b>670.413 €</b>
<b>5</b>	670.413 €	1,205%	<b>678.490 €</b>
<b>6</b>	678.490 €	1,206%	<b>686.673 €</b>
<b>7</b>	686.673 €	1,207%	<b>694.962 €</b>
<b>8</b>	694.962 €	1,208%	<b>703.360 €</b>
<b>9</b>	703.360 €	1,210%	<b>711.868 €</b>
<b>10</b>	711.868 €	1,211%	<b>720.487 €</b>
<b>11</b>	720.487 €	1,212%	<b>729.220 €</b>
<b>12</b>	729.220 €	1,213%	<b>738.067 €</b>
<b>13</b>	738.067 €	1,214%	<b>747.030 €</b>
<b>14</b>	747.030 €	1,216%	<b>756.111 €</b>
<b>15</b>	756.111 €	1,217%	<b>765.311 €</b>
<b>16</b>	765.311 €	1,218%	<b>774.632 €</b>
<b>17</b>	774.632 €	1,219%	<b>784.077 €</b>
<b>18</b>	784.077 €	1,220%	<b>793.646 €</b>
<b>19</b>	793.646 €	1,222%	<b>803.341 €</b>
<b>20</b>	803.341 €	1,223%	<b>813.164 €</b>
<b>21</b>	813.164 €	1,224%	<b>823.117 €</b>
<b>22</b>	823.117 €	1,225%	<b>833.202 €</b>
<b>23</b>	833.202 €	1,226%	<b>843.420 €</b>
<b>24</b>	843.420 €	1,228%	<b>853.774 €</b>
<b>25</b>	853.774 €	1,229%	<b>864.265 €</b>

**Tabla 39** – Ingresos por la generación de empleo. **FUENTE:** Elaboración propia

- Ingresos por la venta de energía para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IPC</b>	<b>ACTUALIZACIÓN PRECIO</b>	<b>INGRESOS ENERGÍA</b>
<b>1</b>	-	-	-	<b>83.137.500 €</b>
<b>2</b>	73,90 €	1,201%	74,787 €	<b>84.135.150 €</b>
<b>3</b>	74,79 €	1,202%	75,684 €	<b>85.144.772 €</b>
<b>4</b>	75,68 €	1,204%	76,592 €	<b>86.166.509 €</b>
<b>5</b>	76,59 €	1,205%	77,512 €	<b>87.200.507 €</b>
<b>6</b>	77,51 €	1,206%	78,442 €	<b>88.246.913 €</b>
<b>7</b>	78,44 €	1,207%	79,383 €	<b>89.305.876 €</b>
<b>8</b>	79,38 €	1,208%	80,336 €	<b>90.377.547 €</b>
<b>9</b>	80,34 €	1,210%	81,300 €	<b>91.462.077 €</b>
<b>10</b>	81,30 €	1,211%	82,275 €	<b>92.559.622 €</b>
<b>11</b>	82,28 €	1,212%	83,263 €	<b>93.670.338 €</b>
<b>12</b>	83,26 €	1,213%	84,262 €	<b>94.794.382 €</b>
<b>13</b>	84,26 €	1,214%	85,273 €	<b>95.931.914 €</b>
<b>14</b>	85,27 €	1,216%	86,296 €	<b>97.083.097 €</b>
<b>15</b>	86,30 €	1,217%	87,332 €	<b>98.248.094 €</b>
<b>16</b>	87,33 €	1,218%	88,380 €	<b>99.427.072 €</b>
<b>17</b>	88,38 €	1,219%	89,440 €	<b>100.620.196 €</b>
<b>18</b>	89,44 €	1,220%	90,513 €	<b>101.827.639 €</b>
<b>19</b>	90,51 €	1,222%	91,600 €	<b>103.049.570 €</b>
<b>20</b>	91,60 €	1,223%	92,699 €	<b>104.286.165 €</b>
<b>21</b>	92,70 €	1,224%	93,811 €	<b>105.537.599 €</b>
<b>22</b>	93,81 €	1,225%	94,937 €	<b>106.804.050 €</b>
<b>23</b>	94,94 €	1,226%	96,076 €	<b>108.085.699 €</b>
<b>24</b>	96,08 €	1,228%	97,229 €	<b>109.382.727 €</b>
<b>25</b>	97,23 €	1,229%	98,396 €	<b>110.695.320 €</b>

**Tabla 40** – Ingresos por la venta de energía. **FUENTE:** Elaboración propia



- Beneficios anuales para todo el horizonte temporal:

<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS VENTA DE ENERGÍA</b>	<b>INGRESOS EMPLEO</b>	<b>INGRESOS BENEFICIOS FISCALES</b>	<b>INGRESOS TOTALES</b>
1	83.137.500,00 €	646.800,00 €	2.970.000,00 €	<b>86.754.300,00 €</b>
2	84.135.150,00 €	654.569,36 €	3.005.675,64 €	<b>87.795.395,00 €</b>
3	85.144.771,80 €	662.439,90 €	3.041.815,88 €	<b>88.849.027,59 €</b>
4	86.166.509,06 €	670.413,03 €	3.078.427,18 €	<b>89.915.349,27 €</b>
5	87.200.507,17 €	678.490,17 €	3.115.516,07 €	<b>90.994.513,41 €</b>
6	88.246.913,26 €	686.672,76 €	3.153.089,19 €	<b>92.086.675,21 €</b>
7	89.305.876,22 €	694.962,27 €	3.191.153,29 €	<b>93.191.991,77 €</b>
8	90.377.546,73 €	703.360,20 €	3.229.715,18 €	<b>94.310.622,11 €</b>
9	91.462.077,29 €	711.868,04 €	3.268.781,82 €	<b>95.442.727,15 €</b>
10	92.559.622,22 €	720.487,34 €	3.308.360,23 €	<b>96.588.469,79 €</b>
11	93.670.337,68 €	729.219,65 €	3.348.457,55 €	<b>97.748.014,88 €</b>
12	94.794.381,74 €	738.066,54 €	3.389.081,04 €	<b>98.921.529,32 €</b>
13	95.931.914,32 €	747.029,62 €	3.430.238,04 €	<b>100.109.181,98 €</b>
14	97.083.097,29 €	756.110,51 €	3.471.936,02 €	<b>101.311.143,82 €</b>
15	98.248.094,46 €	765.310,86 €	3.514.182,53 €	<b>102.527.587,85 €</b>
16	99.427.071,59 €	774.632,35 €	3.556.985,28 €	<b>103.758.689,22 €</b>
17	100.620.196,45 €	784.076,67 €	3.600.352,04 €	<b>105.004.625,16 €</b>
18	101.827.638,81 €	793.645,54 €	3.644.290,74 €	<b>106.265.575,08 €</b>
19	103.049.570,47 €	803.340,71 €	3.688.809,39 €	<b>107.541.720,58 €</b>
20	104.286.165,32 €	813.163,96 €	3.733.916,15 €	<b>108.833.245,43 €</b>
21	105.537.599,30 €	823.117,09 €	3.779.619,29 €	<b>110.140.335,68 €</b>
22	106.804.050,49 €	833.201,92 €	3.825.927,18 €	<b>111.463.179,60 €</b>
23	108.085.699,10 €	843.420,31 €	3.872.848,35 €	<b>112.801.967,76 €</b>
24	109.382.727,49 €	853.774,14 €	3.920.391,44 €	<b>114.156.893,07 €</b>
25	110.695.320,22 €	864.265,31 €	3.968.565,21 €	<b>115.528.150,74 €</b>

**Tabla 41 – Beneficios anuales. FUENTE:** Elaboración propia

- Resultados de indicadores de rentabilidad del proyecto:

<b>VAN</b>	<b>233.260.874 €</b>
<b>TIR</b>	<b>11%</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>4,00%</b>

**Tabla 42 – Indicadores de rentabilidad. FUENTE:** Elaboración propia

## 10. ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

### 10.1. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Detonación de las bombas Little Boy y Fat Man sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki.	7
Figura 2 – Átomo de Uranio fragmentándose.	8
Figura 3 – Reacción en cadena.	9
Figura 4 – Reacciones de fusión en el Sol.	10
Figura 5 – Reactor de fusión nuclear mediante confinamiento magnético.	11
Figura 6 – Reacciones de fusión.	12
Figura 7 – Torres de refrigeración de una central nuclear.	14
Figura 8 – Ensamblaje de la cámara del reactor Tokamak ITER.	16
Figura 9 – Imagen de la mecánica de fusión dentro del núcleo.	18
Figura 10 – Posible esquema de funcionamiento de DEMO.	22
Figura 11 – Tasa Interna de Retorno.	29
Figura 12 – Densidad de probabilidad normal.	31
Figura 13 – Densidad de probabilidad triangular.	32
Figura 14 – Distribución de probabilidad de un TIR.	33
Figura 15 – Probabilidad acumulada de un TIR.	33
Figura 16 – Cámara de vacío del Tokamak ITER.	57
Figura 17 – Criostato del Tokamak ITER.	58
Figura 18 – Cámara de vacío con blindaje térmico del Tokamak ITER.	59
Figura 19 – Sistema de campo toroidal del Tokamak ITER.	60

## **10.2. ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Curva de demanda.	27
Gráfico 2 – VAN - TIR.	46
Gráfico 3 – Probabilidad de obtención del VAN.	49
Gráfico 4 – Porcentaje de probabilidad de obtención del VAN	50
Gráfico 5 – Comparativa de dos proyectos por VAN y TIR	52

### 10.3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Comparativa JET/ITER.	18
Tabla 2 – Horizonte temporal medio por tipo de proyecto.	26
Tabla 3 – Valoración de los impactos.	41
Tabla 4 – Desglose de costes de construcción, fabricación e instalación.	42
Tabla 5 – Costes del proyecto. FUENTE: Elaboración propia	44
Tabla 6 – Ingresos del proyecto.	44
Tabla 7 – Resultados indicadores de rentabilidad.	45
Tabla 8 –Variación de las variables del proyecto.	47
Tabla 9 –Distribuciones de probabilidad.	48
Tabla 10 – Frecuencias de valores del VAN.	49
Tabla 11 – Resumen indicadores estadísticos.	50
Tabla 12 – Costes de operación y mantenimiento.	61
Tabla 13 – Costes de desmantelamiento.	62
Tabla 14 – Costes de acopio de combustible.	63
Tabla 15 – Costes totales anuales.	64
Tabla 16 – Ingresos por la no emisión de CO <sub>2</sub> .	65
Tabla 17 – Ingresos fiscales.	66
Tabla 18 – Ingresos por generación de empleo.	67
Tabla 19 – Ingresos por venta de energía.	68
Tabla 20 – Ingresos totales anuales.	69
Tabla 21 – Beneficios anuales.	70
Tabla 22 – Resultados proyecto.	70
Tabla 23 – Costes de operación y mantenimiento.	71
Tabla 24 – Costes de desmantelamiento.	72
Tabla 25 – Costes de acopio de combustible.	73
Tabla 26 – Costes totales anuales.	74

---

Tabla 27 – Ingresos por la no emisión de CO2.	75
Tabla 28 – Ingresos fiscales.	76
Tabla 29 – Ingresos por generación de empleo.	77
Tabla 30 – Ingresos por venta de energía.	78
Tabla 31 – Ingresos totales anuales.	79
Tabla 32 – Beneficios anuales.	80
Tabla 33 – Indicadores de rentabilidad.	80
Tabla 34 – Costes de operación y mantenimiento.	81
Tabla 35 – Coste de desmantelamiento.	82
Tabla 36 – Coste de acopio de combustibles.	83
Tabla 37 – Coste totales.	84
Tabla 38 – Ingresos fiscales.	85
Tabla 39 – Ingresos por la generación de empleo.	86
Tabla 40 – Ingresos por la venta de energía.	87
Tabla 41 – Beneficios anuales.	88
Tabla 42 – Indicadores de rentabilidad.	88